

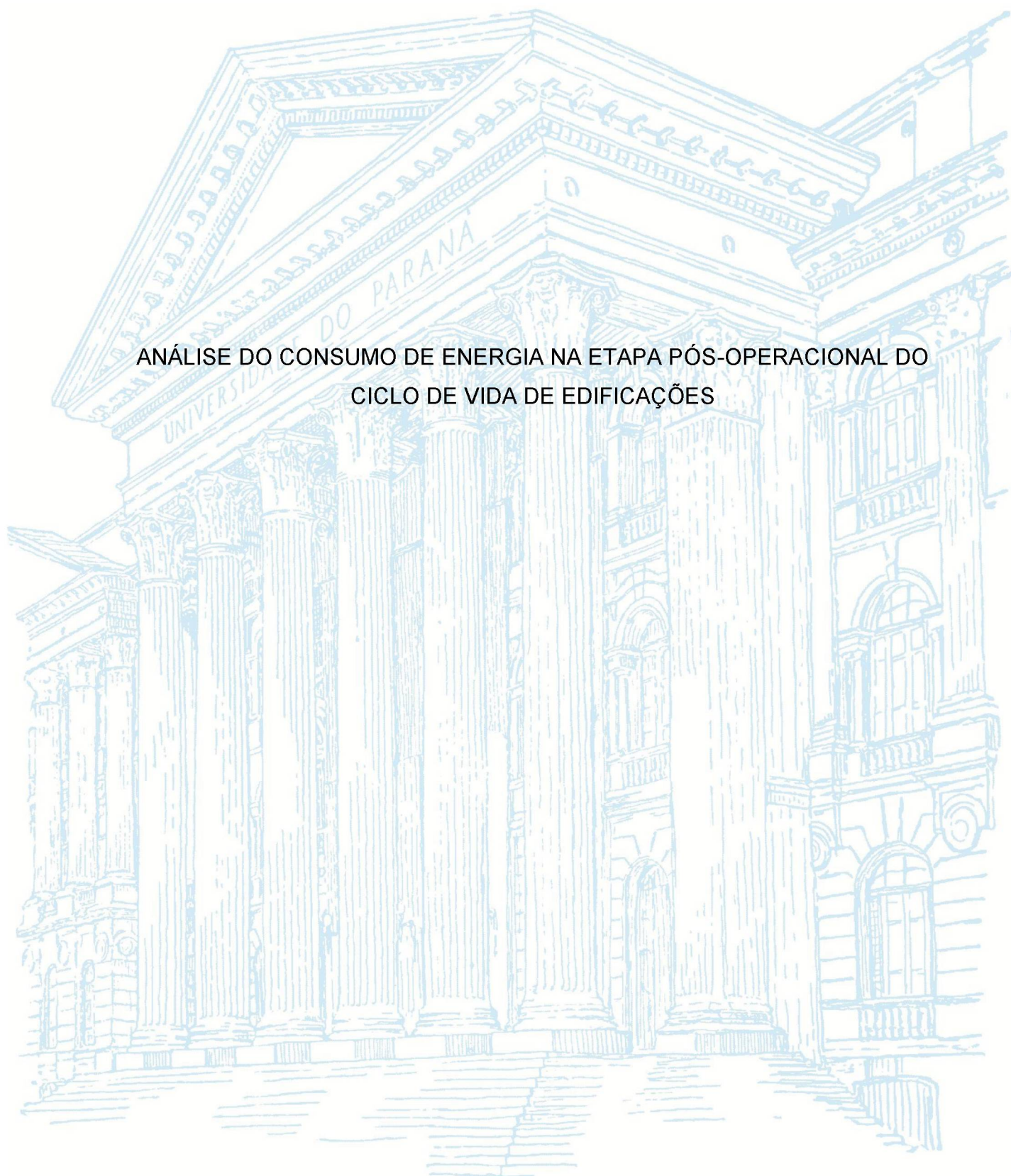
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SILVIA LETÍCIA VACELKOSKI

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NA ETAPA PÓS-OPERACIONAL DO
CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

CURITIBA

2018



SILVIA LETÍCIA VACELKOSKI

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NA ETAPA PÓS-OPERACIONAL DO
CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. George Stanescu

CURITIBA

2018

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

V116a

Vacelkoski, Sílvia Leticia

Análise do consumo de energia na etapa pós-operacional do ciclo de vida de edificações [recurso eletrônico] / Sílvia Leticia Vacelkoski. – Curitiba, 2019.

Dissertação – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Construção Civil, 2019.

Orientador: George Stanesco.

1. Energia - Consumo. 2. Resíduos como material de construção. 3. Eliminação de resíduos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Grégio, George. III. Título.

CDD: 333.796

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB- 9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de SILVIA LETÍCIA VACELKOSKI intitulada: *Análise do Consumo de Energia na Etapa Pós-Operacional do Ciclo de Vida de Edificações*, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 30 de Agosto de 2018.

GEORGE STANESCU

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

MARCELO RISSO ERRERA
Avaliador Externo (UFPR)

EDUARDO FELGA GOBBI
Avaliador Externo (UFPR)

Aos meus pais, Nazi e Marlene,
por tudo o que sou.

A minha família,
pelo grande incentivo e por torcerem tanto por mim.

Ao André,
pelo amor, carinho e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por ter me dado à permissão de chegar até aqui, e por toda a força concedida na concretização desse sonho. Além disso, agradeço a Ele por todas as pessoas que cruzaram meu caminho e que estão aqui citadas, todas são muitíssimo especiais.

Aos meus pais, Nazi e Marlene, minhas bases, simplesmente por terem me feito existir, por tanto amor, por tudo o que sou, por cada oração, por terem me proporcionado educação e amor pelos estudos, e, apesar das inúmeras dificuldades, por sempre me estimularem a continuar.

Ao meu amor, André - meu equilíbrio - pela sua incansável boa vontade em me ajudar, por perder noites de sono e fins de semana ao meu lado, só para me fazer companhia, compartilhando meus ideais e incentivando-me a prosseguir, insistindo para que eu avançasse cada vez mais um pouquinho. Enfim, por estar incessantemente ao meu lado, sendo muito mais do que se pode esperar. Amo você!

A minha família, especialmente a Mariza, Eliza, Edeniza e Eloir, pela paciência, compreensão e dedicação nesse processo, que quando necessário ajudaram de todas as formas e em nenhum momento mediram esforços para me apoiar. Obrigada pela confiança!

A minha irmã Bruna, pelas vezes que precisei me hospedar em sua casa em Curitiba e sempre fui muito bem recebida. Agradeço de coração! Sempre estarei pronta para lhe ajudar.

Ao meu orientador George Stanesco, que contribuiu de todas as formas para a viabilidade dessa pesquisa e por todas as suas contribuições para o meu crescimento como pesquisadora.

Aos professores do PPGECC e aos colegas do mestrado pelas contribuições e pelo crescimento juntos.

As Faculdades Integradas do Vale do Iguaçu – Uniguaçu, por todas as vezes que precisei me ausentar das aulas para atender aos compromissos referentes ao mestrado e sempre fui prontamente atendida. Muito obrigada pelo incentivo!

Aos professores e funcionários do Colégio Estadual do Campo João de Lara, por tudo que fizeram por mim enquanto lá estudei! Fizeram parte da minha formação pessoal e hoje não tenho outro meio para lhes agradecer. Sinto um orgulho imenso

dentro do peito todas as vezes que digo onde estudei, dizendo que tive o privilégio de ter passado por esse Colégio que tanto preza pelo sucesso dos jovens e pelo bem-estar da sociedade!

Ao professor Fábio André Santa Clara, quase sem palavras para expressar toda minha gratidão por tudo que já fez por mim, pois boa parte de tudo que aprendi sobre valores e caráter pessoal devo aos seus ensinamentos. Serei eternamente grata por tudo! Procuro seguir sempre seu bom exemplo para tentar mudar as coisas ao meu redor, plantando uma semente de esperança no coração dos jovens através da educação. Serei sempre uma grande admiradora dos seus exemplos!

A professora Sonia Mara Schipitoski por ter sido uma mãe para mim nos momentos que estivemos longe de casa. Agradeço por todo seu carinho e por todo o tempo que dedicou me acompanhando durante os jogos. Muitos dos momentos que vivemos jamais sairão da memória. Obrigada por cada um deles!

A Prefeitura Municipal do município de Paula Freitas, em especial a Secretaria de Transporte e aos motoristas do transporte da saúde, Josinei e Edson, por todas as “caronas” e as vezes que me ajudaram me deixando na entrada do Centro Politécnico da UFPR para que pudesse assistir às aulas do mestrado.

Finalmente, gostaria de agradecer à Universidade Federal do Paraná por abrir as portas para que eu pudesse realizar mais este sonho! Proporcionaram-me muito mais que a busca de conhecimento técnico e científico, mas uma lição de vida!

Ninguém vence sozinho. Obrigada a todos!

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém
ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

A indústria da construção civil tem sido um dos principais setores que causam grandes impactos ambientais, desde a fase de extração dos materiais para a construção das edificações até a fase de demolição, ao final da sua vida útil. Isso torna crescente a preocupação de pesquisadores em reduzir esses impactos, considerando seus consumos energéticos em cada uma das fases do ciclo de vida. Entretanto as pesquisas analisadas são voltadas, em sua maioria, para as fases de extração, construção, manutenção e operação do edifício, com pouco, ou quase nenhuma atenção para a última etapa do ciclo de vida das edificações: a fase de demolição. O presente estudo tem como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica de possível implementação na área de engenharia civil de elementos da economia circular, relacionados principalmente à reutilização de concreto proveniente de resíduos de processos de demolição de edifícios. O conceito de economia circular concorda com os princípios de uma economia ecológica, baseada nos 3 R's: reduzir, reutilizar e reciclar. Além disso, a economia circular visa criar outras condições para que os recursos e a energia fluam de maneira circular maximizando o aproveitamento de recursos naturais e minimizando a deposição de resíduos em aterros. Com o propósito de analisar o consumo de energia gasta para a demolição de edifícios, a dissertação avalia um estudo de caso, de um edifício residencial com uma área total de 1.385,84 m², localizada na cidade de União da Vitória – PR. Conforme a metodologia aplicada, o consumo de energia é calculado a partir da soma entre o consumo de energia para demolição e o consumo para remoção dos resíduos, sendo que este último termo é determinado somando os consumos de energia nos processos de britagem, carregamento, transporte e descarregamento dos resíduos. Quando levar em consideração somente as massas de alvenaria, aço e concreto, os valores obtidos através dos cálculos apontam que o processo de demolição é o de maior consumo de energia, 44,35 kWh/m². No processo de remoção dos resíduos estão sendo consumidos, especificamente para o transporte numa rota de 47 km, 34,90 kWh/m². O consumo total de energia para a fase pós-operacional do ciclo de vida da edificação estudada é de 80,88 kWh/m², incluindo a energia de demolição e a energia de remoção dos resíduos.

Palavras-chave: Consumo de energia. Pós-operacional. Edificações. Economia linear. Economia circular.

ABSTRACT

The construction industry has been one of the main sectors that cause major environmental impacts, from the extraction phase of the materials for the construction of the buildings to the demolition phase, at the end of their useful life. This increases researchers concern to reduce these impacts, considering the energy consumptions in each of the phases of buildings' life cycle. However, most of the research already done focuses mostly on the extraction, construction, maintenance and operation phases of the buildings, with little or no attention to the last stage of the building's life cycle: the demolition phase. The main goal of this study is to evaluate the technical feasibility of possible implementation in the civil engineering area of some circular economy elements, mostly those related to the reuse of waste concrete from buildings demolition processes. Foundation of the circular economy concept grounds on the principles of a green economy based on the 3 Rs: reduce, reuse and recycle. The circular economy aims to create better conditions for the use of materials and energy, thus maximizing the use of natural resources and consequently minimizing landfills waste deposition. With the purpose of approaching the energy consumption issue for buildings demolition, this study develops a case study of a residential building with a total area of 1,385.84 m² located in União da Vitória City, Paraná. Based on the proposed methodology, the energy consumption for demolition is determined in this study by adding the energy consumption for demolition to the energy consumption for the waste removal. The energy consumption for waste removal represents the sum of the energy consumptions for the crushing, loading, transport and waste unloading processes. By considering only masonry, steel and concrete, the numerical results in this study suggest that demolition is the most energy consuming process (44.35 kWh/m²) while the waste removal process consumes 34.90 kWh/m² for a specified 47 km route. Thus, by adding to the energy consumption for demolition and the energy consumption for waste removal, the total energy consumption for the post-operational phase of the life cycle of the building considered in this study is 80.88 kWh/m².

Keywords: Energy consumption. Post-operational. Buildings. Linear economy. Circular economy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MODELO DE ECONOMIA LINEAR	19
FIGURA 2 – MODELO DE ECONOMIA CIRCULAR.....	19
FIGURA 3 – RESÍDUOS QUE SÃO RECICLADOS OU REUTILIZADOS NOS EUA20	
FIGURA 4 – REUTILIZAÇÃO DO CONCRETO	21
FIGURA 5 – (a) RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO BRITADOS. (b) BLOCOS CERÂMICOS	22
FIGURA 6 – ECONOMIA LINEAR X ECONOMIA CIRCULAR	23
FIGURA 7 – ESTRUTURA DA PESQUISA.....	25
FIGURA 8 – DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	26
FIGURA 9 – PESQUISAS DESENVOLVIDAS NO PPGECC.....	27
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO MUNDO.....	29
FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL.....	30
FIGURA 12 – CONSUMO DE ENERGIA PARA DEMOLIÇÃO	36
FIGURA 13 – ENERGIA DE TRANSPORTE – PRODUÇÃO, RENOVAÇÃO E DEMOLIÇÃO.....	37
FIGURA 14 – USO DE ENERGIA NO CICLO DE VIDA DOS TRÊS MODELOS ESTUDADOS.....	37
FIGURA 15 – ESCOMBROS ORIUNDOS DO PROCESSO DE DEMOLIÇÃO	42
FIGURA 16 – PÁ CARREGADEIRA	43
FIGURA 17 – TRITURADOR DE MANDÍBULAS	44
FIGURA 18 – MODELO DE CAMINHÃO UTILIZADO NO TRASNPORTE DE RESÍDUOS	48
FIGURA 19 – DISTÂNCIA ENTRE A EDIFICAÇÃO A USINA DE RECICLAGEM....	48
FIGURA 20 – DISTÂNCIA ENTRE A EDIFICAÇÃO A E AS UNIDADES DE RECICLAGEM	49
FIGURA 21 – CAMINHÃO BASCULANTE.....	50
FIGURA 22 – LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	52
FIGURA 23 – CARACTERÍSTICAS DA OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO	53
FIGURA 24 – PERSPECTIVA EDÍFICIO RESIDENCIAL.....	54
FIGURA 25 – IMPLANTAÇÃO GERAL DO EDÍFICIO	54
FIGURA 26 – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TÉRREO	55
FIGURA 27 – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO.....	55

FIGURA 28 – MODELO DE APARTAMENTP 01.....	56
FIGURA 29 – MODELO DE APARTAMENTP 02.....	56
FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO DOS APARTAMENTOS E ÁREA COMUM – PAVIMENTO TÉRREO	57
FIGURA 31 – DISTRIBUIÇÃO DOS APARTAMENTOS E ÁREA COMUM – PAVIMENTO TIPO.....	57
FIGURA 32 – PERSPECTIVA EXTERNA – VISTA DOS FUNDOS	58
FIGURA 33 – DESCONSTRUÇÃO DE SILOS ANTIGOS EM COPENHAGUEN	59
FIGURA 34 – SISTEMA ECOLÓGICO DE TROCADOR DE CALOR AR-SOLO	69
FIGURA 35 – TROCADOR DE CALOR AR-SOLO COM MISTURA DE SOLO E LASCAS DE CONCRETO DE DEMOLIÇÃO ESMAGADO EM DIFERENTES GRANULAÇÕES DO LADO EXTERNO DA TUBULAÇÃO	70
FIGURA 36 – PRODUTO MANUFATURADO EM PRODUÇÃO DE SERIE COM VISTA EM POSSÍVEIS ARRANJOS CONSTRUCTAIS PARA TROCADORES DE CALOR.....	70
FIGURA 37 – BLOCO CERÂMICO MANUFATURADO EM PRODUÇÃO DE SERIE POSSIVELMENTE USANDO RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO, VIABILIZANDO MONTAGEM DE ARRANJOS CONSTRUCTAIS PARA TROCADORES DE CALOR.....	71
FIGURA 38 – QUEBRA-MAR.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – USO DE ENERGIA PARA O TRANSPORTE DE CADA MATERIAL.	63
GRÁFICO 2 – USO DE ENERGIA NOS PROCESSOS DE CARREGAMENTO, BRITAGEM E DESCARREGAMENTO DE RESÍDUOS	64
GRÁFICO 3 – USO TOTAL DE ENERGIA DE DEMOLIÇÃO	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESTUDOS NA TEMÁTICA DE ACVE	32
TABELA 2 – DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE PARA ATERROS E USINAS DE RECICLAGEM	40
TABELA 3 – CARACTERÍSTICA DO TRITURADOR DE MANDÍBULA	45
TABELA 4 – FATOR DE DESPERDÍCIO DO MATERIAL w_i (%)	46
TABELA 5 – USO DE ENERGIA PARA VÁRIOS TIPOS DE TRANSPORTE	47
TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DO CAMINHÃO UTILIZADO PARA O TRANSPORTE	47
TABELA 7 – DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE PARA USINAS DE RECICLAGEM DE DIFERENTES MATERIAIS	49
TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO	58
TABELA 9 – MATERIAIS ADOTADOS PARA O CÁLCULO	61
TABELA 10 – USO DE ENERGIA PARA O TRANSPORTE DOS RESÍDUOS	62
TABELA 11 – CONSUMO DE ENERGIA PARA OS DEMAIS PROCESSOS DE REMOÇÃO	64

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABCV	- Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ACV	- Avaliação do Ciclo de Vida
ACVE	- Avaliação do Ciclo de Vida Energético
BEN	- Balanço Energético Nacional
EE	- Energia Embutida
ISO	- <i>International Organization for Standards</i>
PVC	- Policloreto de Vinila
RCD	- Resíduos de construção e demolição
SETAC	- <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
TEP	- Toneladas equivalentes de petróleo
WBCSD	- <i>World Business Council for Sustainable Development</i>
ZAD	- Zona urbana de alta densidade

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ - Densidade.

- Eficiência dos equipamento.

DICIONÁRIO DE TERMOS

Demolição	-Destruições totais da edificação sem cuidado prévio com a separação dos componentes para posterior reusam.
Desconstrução	-Operação de desmontagem da edificação e remoção dos componentes separadamente, facilitando o reaproveitamento dos materiais.
<i>Ecodesign</i>	-Processo que contempla os aspectos ambientais onde o objetivo principal é desenvolver produtos e executar serviços que de alguma maneira possam reduzir o uso dos recursos não renováveis e minimizar o impacto ambiental dos mesmos durante seu ciclo de vida.
Economia circular	-Modelo de economia que visa repensar as práticas econômicas da atual sociedade, garantindo a eficiência de recursos e minimizando a quantidade de emissões e resíduos indesejáveis.
Pós-operacional	-Última fase do ciclo de vida da edificação, quando o edifício for desativado.
<i>Cement Sustainability Initiative</i> - Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento.	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	24
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	25
1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PPGECC	26
2 REVISÃO DE LITERATURA	28
2.1 CONSUMO DE ENERGIA.....	28
2.1.1 Origem da matriz energética	28
2.1.2 Panorama da energia no Brasil e no mundo	28
2.1.3 Uso de energia na construção civil.....	30
2.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES (ACVE)	32
2.2.1 Consumo de energia na fase pós-operacional do ciclo de vida.....	34
3 ESTADO DA ARTE: CONSUMO DE ENERGIA	35
3.1 CONSUMO DE ENERGIA PARA DEMOLIÇÃO	35
3.2 CONSUMO DE ENERGIA PARA REMOÇÃO DOS RESÍDUOS	36
3.3 POTENCIAL DE REUSO DOS COMPONENTES.....	38
4 METODOLOGIA	41
4.1 CONSUMO TOTAL DE ENERGIA PARA DEMOLIÇÃO	41
4.2 CONSUMO DE ENERGIA PARA A REMOÇÃO DE RESÍDUOS	43
4.2.1 Consumo de energia para o carregamento	43
4.2.2 Consumo de energia para a britagem de resíduos	44
4.2.3 Consumo de energia no transporte de resíduos	46
4.2.3.1 Modelo de caminhão adotado	47
4.2.3.2 Distância percorrida para o transporte de resíduos	48
4.2.4 Consumo de energia para o descarregamento	50
5 ESTUDO DE CASO	52
5.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	53
5.2 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	53

5.3 DESCONSTRUÇÃO: PROPOSTAS ARQUITETÔNICAS DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A EDIFICAÇÃO ADOTADA	59
6 RESULTADOS.....	61
6.1 QUANTIDADE DE MATERIAIS DE DEMOLIÇÃO	61
6.2 CONSUMO DE ENERGIA DO CAMINHÃO CAÇAMBA	61
6.3 CONSUMO DE ENERGIA PARA A REMOÇÃO DOS RESÍDUOS.....	62
6.3.1 Processo de transporte dos materiais	62
6.3.2 Processo de carregamento, britagem e descarregamento	63
6.3.3 Consumo total de energia para o processo de remoção de resíduos.....	64
6.4 CONSUMO DE ENERGIA PARA A DEMOLIÇÃO	65
6.5 CONSUMO DE ENERGIA TOTAL DE DEMOLIÇÃO	65
7 CONCLUSÕES	67
7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE 1 – QUANTITATIVO DE MATERIAIS UTILIZADOS	78

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, no campo da construção civil, quantificar o consumo de energia em cada uma das fases que compõem o ciclo de vida de uma edificação representa uma importante linha de pesquisa no contexto da sustentabilidade no ambiente construído, a fim de verificar o impacto ambiental causado pelas diferentes atividades humanas. Para isso, o método de Análise do Ciclo de Vida - ACV tem sido amplamente utilizado para avaliar os impactos ambientais gerados durante todo o ciclo de vida de produtos ou serviços.

O método de ACV é uma ferramenta que fornece suporte necessário para decisões estratégicas e elaboração de alternativas que melhoram o desempenho ambiental da edificação (OLIVEIRA, 2016). As decisões tomadas durante as etapas iniciais do projeto do edifício podem determinar criticamente o seu impacto ambiental.

De acordo com Adalberth (1997a), a ACV aplicada às edificações refere-se a todas as fases do ciclo de vida, desde o ponto onde os materiais de construção são extraídos e processados, passando pela construção, a operação e manutenção até a desconstrução do edifício.

O consumo de energia em cada uma das fases do ciclo de vida das edificações tem sido alvo de inúmeros estudos. Entretanto, a maioria desses estudos tem seu foco centralizado nas fases de fabricação dos materiais, construção do edifício (fase pré-operacional) e ocupação (fase operacional), já que estas etapas indicam os maiores consumos de energia durante o ciclo de vida. Diante disso, a fase final, ou seja, a fase pós-operacional do ciclo de vida das edificações é ainda pouco tratada.

O consumo de energia na etapa pós-operacional do ciclo de vida consiste em investigar dois principais aspectos, sendo eles a demolição e a remoção dos resíduos, que somados, indicam o valor total de energia utilizada nesse processo. Entretanto, a proposta desse estudo inclui também, dentro da parte de remoção dos resíduos, mais quatro outros processos, que se dividem em carregamento dos resíduos, britagem, transporte e descarregamento dos materiais.

A metodologia da divisão adotada para o processo de remoção em mais processos justifica-se pela necessidade de verificar com maior precisão o consumo de energia em cada um desses procedimentos separadamente, a fim de averiguar

quais deles apresentam os maiores valores de consumo de energia, podendo assim, por exemplo, aumentar a certeza e a autonomia em uma tomada de decisão sobre medidas para redução de consumo de energia na etapa pós-operacional das edificações.

Assim, o presente estudo busca determinar quantitativamente o consumo de energia que caracteriza a fase pós-operacional do ciclo de vida de uma edificação residencial, já que através das leituras realizadas sobre o assunto, observou-se uma lacuna científica especificamente nessa etapa do ciclo de vidas das edificações.

1.1 PROBLEMA

Na presente pesquisa foi desenvolvida uma análise do consumo de energia na etapa pós-operacional do ciclo de vida de edificações, objetivando a avaliação da viabilidade de implementação no Brasil da Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (*The Cement Sustainability Initiative*) do Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é avaliar a viabilidade técnica de possível implementação na área de engenharia civil de elementos da economia circular, relacionados principalmente à reutilização de concreto proveniente de resíduos de processos de demolição.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliação do consumo de energia no processo de demolição de edifícios e de remoção dos resíduos.
- b) Análise do consumo de energia nos processos de carregamento, britagem, transporte e descarregamentos dos resíduos;
- c) Análise comparativa crítica dos conceitos de demolição e desconstrução de edifícios com vista na possível redução de custos no final do ciclo de vida de edifícios conforme o modelo da economia

circular.

- d) Aspectos práticos visando reutilização integral pela engenharia civil brasileira de concreto proveniente de resíduos de processos de demolição.

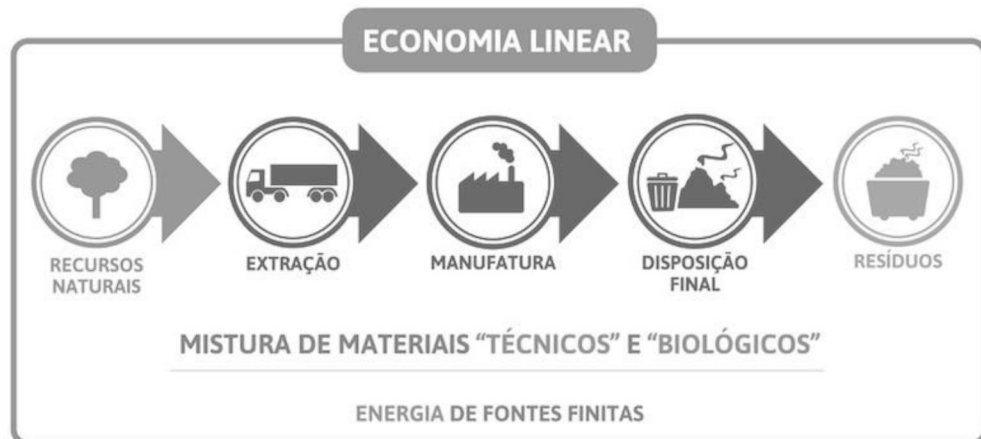
1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com o relatório desenvolvido pelo *World Economic Forum* (2014), os últimos 150 anos de evolução industrial foram dominados por um modelo linear de produção e consumo, no qual os bens são fabricados a partir de matérias-primas, vendidos, usados e depois descartados como resíduos. Em virtude do inconstante e variável aumento da economia global e do esgotamento de recursos, a demanda por um novo modelo econômico está ficando mais alta. A busca por uma melhoria substancial no desempenho dos recursos em toda a economia tem levado as empresas a explorar maneiras de reutilizar produtos ou seus componentes.

Apesar dos esforços na promoção da reciclagem e em medidas que visam reduzir a necessidade de extração de recursos, os bens de consumo continuam a seguir uma lógica linear (Figura 1), ou seja, não são reaproveitados e muitas vezes são depositos em aterro após a sua produção e utilização (FRAGA, 2017). Estes fatores geram um aumento do consumo de recursos, de emissões de gases poluentes, de rejeição de efluentes líquidos, e uma utilização excessiva de espaço para comportar os produtos em fim de vida. Neste contexto, surge o conceito de economia circular (CARRILLO-HERMOSILLA *et al.*, 2010; PRESTON, 2012).

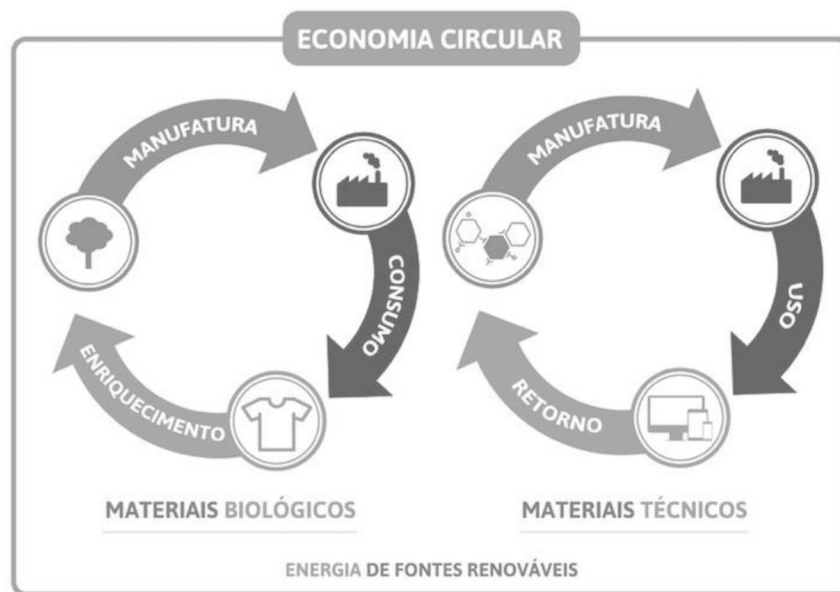
De acordo com o relatório desenvolvido pela *Ellen MacArthur Foundation*, (2013), a economia circular é um modelo que visa repensar as práticas econômicas da atual sociedade. Baseada no princípio de “fechar o ciclo de vida” dos produtos (Figura 2), esta tem como objetivo, para além de garantir a eficiência de recursos e minimizar a quantidade de emissões e resíduos indesejáveis, promover relações entre empresas de modo a que uma possa utilizar os resíduos de outra como insumo no seu processo produtivo, viabilizando assim a economia circular.

FIGURA 1 – MODELO DE ECONOMIA LINEAR



FONTE: *Green Nation* - Gestão Empresarial para a Sustentabilidade em tempos de Mudanças Climática (2015).

FIGURA 2 – MODELO DE ECONOMIA CIRCULAR



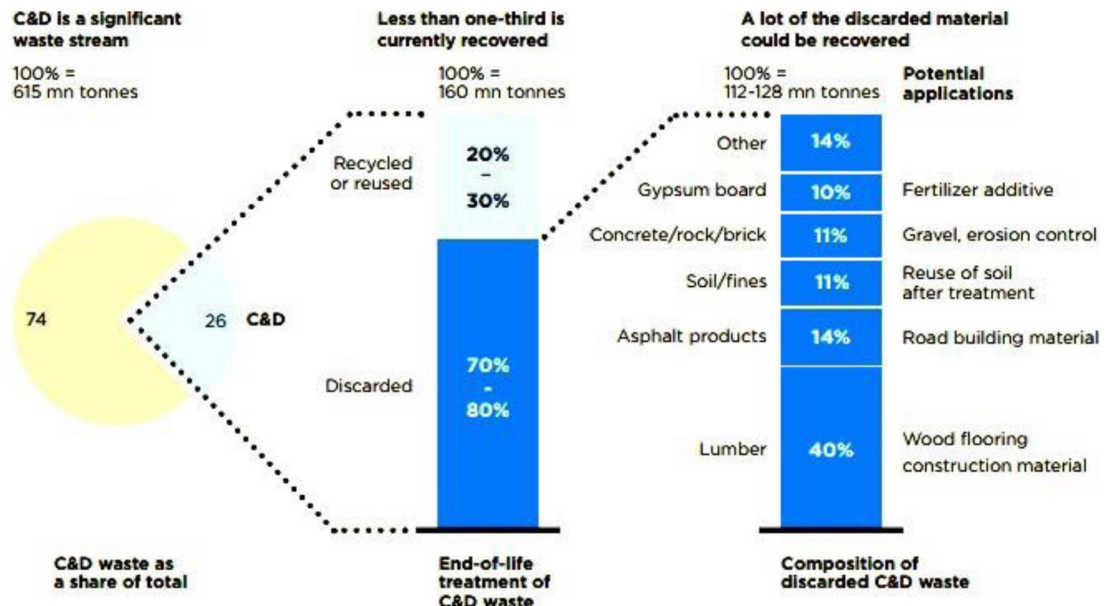
FONTE: *Green Nation* - Gestão Empresarial para a Sustentabilidade em tempos de Mudanças Climática (2015).

A base do conceito de economia circular é o da criação de uma economia ecológica que esteja de acordo com o princípio dos 3 R's: reduzir, que supõe diminuir a quantidade de substâncias, tanto na extração como na produção e no consumo, reutilizar, e em reciclar (*Cradle to Cradle Products Innovation Institute*, 2016). Apesar de incluir o conceito dos 3 R's, a economia circular visa criar outras condições para que os recursos e a energia fluam de maneira circular maximizando o aproveitamento de recursos naturais e minimizando a deposição de resíduos em

aterro. Um exemplo é o *ecodesign*, no qual os produtos são desenhados de forma a que sejam reutilizados, reduzindo assim a necessidade de extração de novos recursos naturais no início de outro processo produtivo (GENOVESE *et al.*, 2017).

Na área da construção civil, segundo o estudo feito por *Ellen MacArthur Foundation* (2013), os resíduos gerados durante a construção e demolição de edifícios representam 26% do total de resíduos sólidos não industriais produzidos nos Estados Unidos, incluindo muitos materiais recicláveis como aço, madeira e concreto. Somente 20 a 30% de todos os resíduos de construção e demolição são reciclados ou reutilizados (Figura 3). Na Europa são gerados anualmente cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos, dos quais 40% são resíduos oriundos de construção e demolição (WBCSD, 2009). Isso se deve geralmente porque os prédios são projetados e construídos de forma a não decompor as partes em componentes recicláveis e muito menos reutilizáveis, o que gera um resultado de perda significativa de materiais valiosos para o sistema.

FIGURA 3 – RESÍDUOS QUE SÃO RECICLADOS OU REUTILIZADOS NOS EUA



FONTE: EPA: *Journal of Environmental Engineering* (2013).

A quantidade de resíduos de demolição proveniente de vários acontecimentos, sejam de ordem natural ou por consequência humana, geram uma elevada quantidade de resíduos (MENEZES *et al.*, 2015).

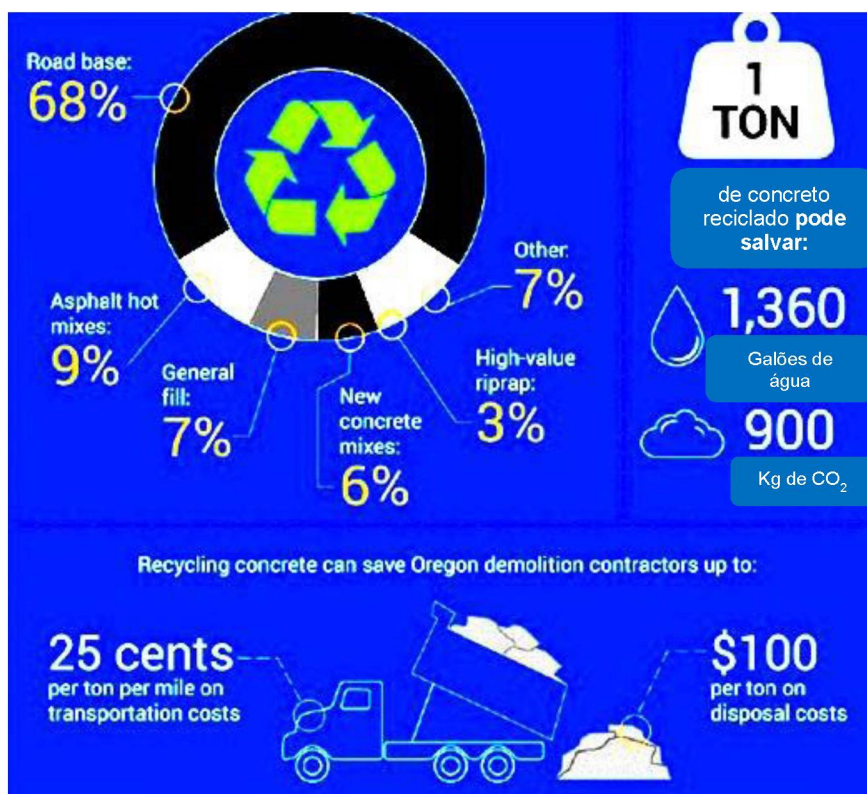
Segundo o relatório feito pelo *World Business Council for Sustainable*

Development – WBCSD (2009), o concreto é o segundo material mais consumido no mundo depois da água. Estima-se que sejam gerados, anualmente, mais de 900 milhões de toneladas de resíduos deste material na Europa, nos Estados Unidos e no Japão.

Em 1950, eram consumidas entre 2 e 2,5 bilhões de toneladas de concreto e, em 2006, foram consumidas globalmente entre 21 e 31 bilhões de toneladas de concreto. Mundialmente está sendo usado na construção duas vezes mais concreto do que o total de todos os outros materiais de construção, incluindo madeira, aço, plástico e alumínio (WBCSD, 2009). Por consequência disso, o concreto constitui uma parte considerável dos resíduos no mundo.

A reutilização do concreto pode poupar uma significativa quantidade de água, um de seus principais componentes, além de reduzir a emissão de CO₂ para a atmosfera (Figura 4). De acordo com o WBCSD (2009), para cada tonelada de concreto reciclado podem ser economizados cerca de 6.800 litros de água e reduzidos 900 kg de CO₂ emitidos na natureza.

FIGURA 4 – REUTILIZAÇÃO DO CONCRETO



FONTE: WBCSD (2009).

Em um panorama internacional, segundo o WBCSD (2009), a maior aplicação da reutilização do concreto tem sido em bases e sub-bases de estradas (68%), porém outras aplicações do concreto reciclado também têm aumentado conforme mostrado na Figura 4.

Entretanto, um estudo desenvolvido por Callejas *et al.*, (2017) no Brasil chamou a atenção mostrando a resistência de blocos cerâmicos produzidos a partir de concreto reciclado. Esse estudo evidencia o aumento do uso de concreto reciclado na produção de componentes construtivos. Através da Figura 5 (a) é possível observar que a partir dos resíduos britados são produzidos os blocos cerâmicos para serem utilizados em novas construções - Figura 5 (b).

FIGURA 5 – (a) RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO BRITADOS. (b) BLOCOS CERÂMICOS



FONTE: CALLEJAS *et al.*, (2017).

A aplicação desses blocos cerâmicos produzidos com concreto reciclado poderia ser implementada em programas governamentais como o programa “minha casa, minha vida”, o que iria reduzir custos para o governo, além de dar uma solução cabível para a destinação dos resíduos provenientes de demolições.

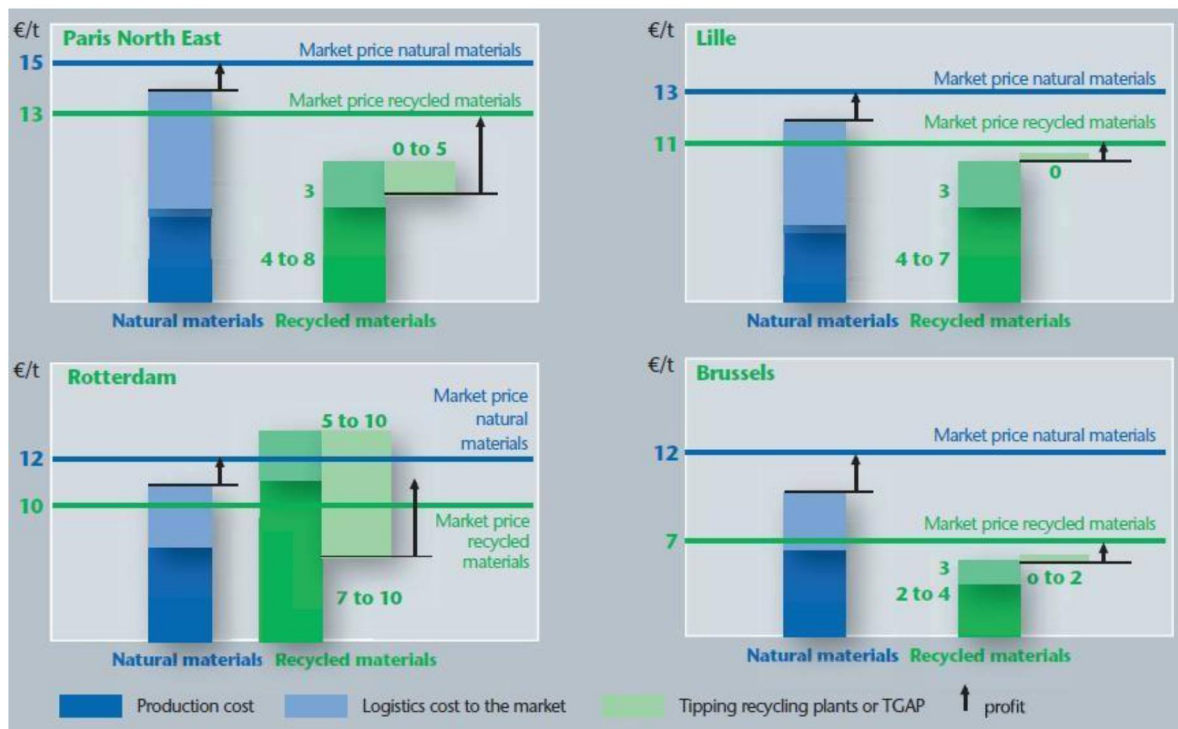
Do ponto de vista econômico, a reutilização de uma tonelada de concreto poderia reduzir o custo de transporte desses resíduos em R\$ 0,25/(tonelada × milha). Além disso, pode também ser considerada a taxa para eliminação desses resíduos a pagar no aterro, cujo valor é de US\$ 100,00/tonelada, conforme WBCSD (2009).

O aproveitamento – como insumo de menor custo - do concreto dos resíduos gerados no processo de demolição de um edifício como matéria-prima para outras aplicações na área da construção civil é uma ferramenta fundamental para assegurar a viabilidade da economia circular. Esta apresenta vantagens como a

redução dos passivos ambientais evitando o acúmulo de resíduos, e com a consequente redução de custos para aquisição de novos materiais (FRAGA, 2017).

A Figura 6 mostra um comparativo entre alguns países europeus com relação a possível redução dos custos com insumos de um novo empreendimento, quando implementado o reuso de materiais reciclados em substituição aos novos, conforme modelo de economia circular. Assim notam-se possíveis economias de 13% no caso de *Paris North East*, 15% em *Lille* também na França, 16% no caso de *Rotterdam* na Holanda e de 41% em *Brussels*. Com base nesses valores, considera-se, pelo menos em base teórica, que se houvesse implementação de economia circular na área da construção civil no Brasil, viabilizando assim economias de 10% nos gastos com materiais, somente o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) apresentaria um potencial de aumento de pelo menos 100 mil novas residências a serem construídas, ou cerca de 10 bilhões de economia em termos financeiros. Evidentemente estes são argumentos fortes o suficiente para explicar a motivação da autora no desenvolvimento deste estudo.

FIGURA 6 – ECONOMIA LINEAR X ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: UEPG: *Aggregates from construction and demolition waste in Europe* (2006).

Outro ponto bastante relevante a ser considerado é que os edifícios não são

mais demolidos simplesmente porque são velhos e estruturalmente instáveis. Segundo Crowther (2001), atualmente os edifícios são demolidos por razões de obsolescência econômica, obsolescência locacional e tendências estilísticas. Nos EUA, por exemplo, 27% dos edifícios que existiam no ano 2000 devem ser substituídos até 2030 (GUY e CIARIMBOLI, 2003). Um estudo realizado pelo instituto Athena nos EUA constatou que 30% dos edifícios demolidos tinham menos de 30 anos (GUY e CIARIMBOLI, 2003). Considerando esse contexto, é evidente a preocupação com o montante de resíduos gerados pela destruição dessas construções.

Diante do exposto, ressalta-se a importância em detalhar o valor total resultante do consumo de energia na fase pós-operacional do ciclo de vida de um edifício, além de apontar possíveis soluções para o uso desses resíduos em diferentes aplicações.

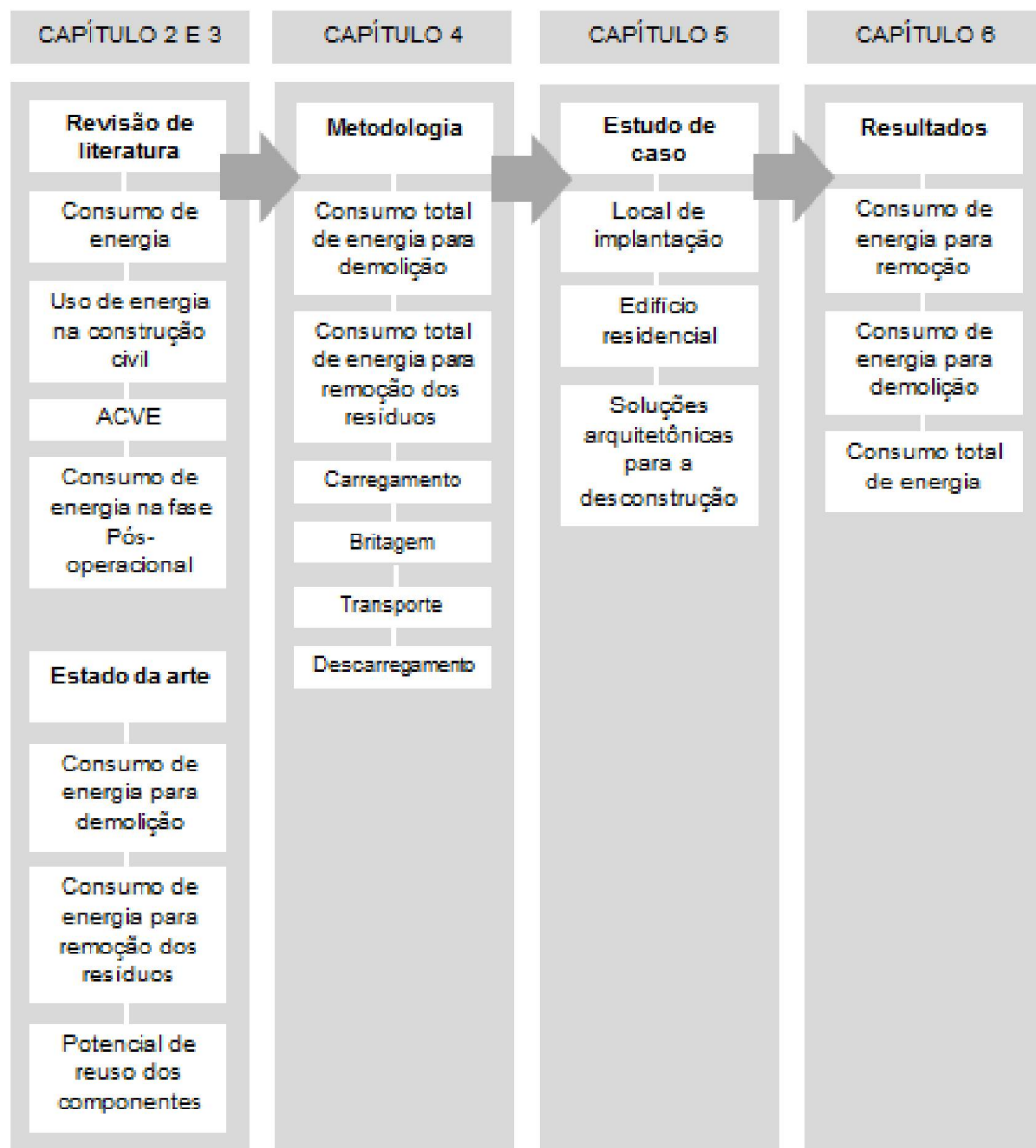
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

A estruturação dessa pesquisa se divide em 7 capítulos, sendo eles:

- a) Capítulo 1: Introdução enfatizando a importância do trabalho, problema da pesquisa a ser tratado, os objetivos e a justificativa.
- b) Capítulo 2: Revisão bibliográfica buscando evidenciar os assuntos que corroboram a pesquisa, incluindo o consumo de energia e Análise do Ciclo de Vida Energético das edificações (ACVE).
- c) Capítulo 3: Estado da arte da pesquisa evidenciando o consumo de energia para demolição, remoção dos resíduos e o seu potencial de reuso.
- d) Capítulo 4: Descrição da metodologia utilizada incluindo o detalhamento de todas as etapas propostas para o estudo.
- e) Capítulo 5: Descrição do estudo de caso adotado.
- f) Capítulo 6: Apresentação dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia.
- g) Capítulo 7: Conclusões sobre os resultados encontrados no decorrer do estudo e propostas de estudos futuros.

A estrutura da pesquisa está organizada de acordo com a Figura 7.

FIGURA 7 – ESTRUTURA DA PESQUISA

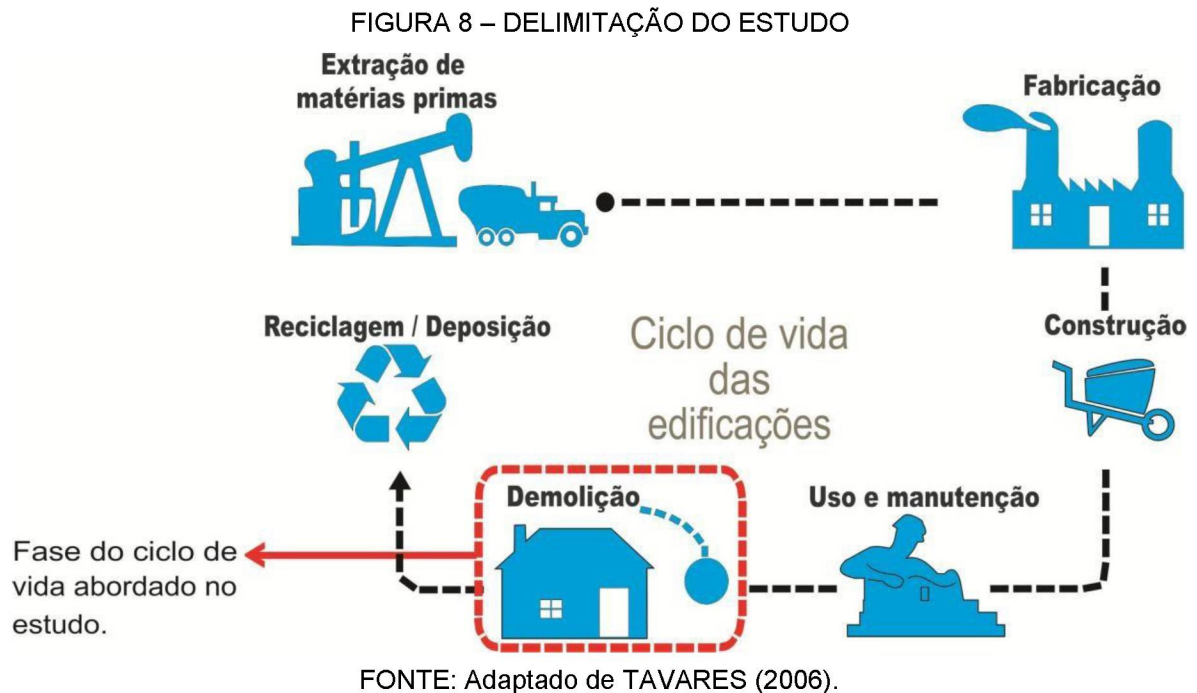


FONTE: A autora (2017).

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Toda pesquisa possui limitações ligadas ao contexto em que foi realizada, sejam elas teóricas, metodológicas ou práticas. O presente estudo limita-se a uma fase específica do ciclo de vida das edificações, conforme pode ser verificado na delimitação feita na Figura 8. O estudo concentra-se na fase pós-operacional do ciclo de vida, ou seja, na etapa que consiste na demolição e remoção dos resíduos das edificações. A metodologia da pesquisa busca quantificar o consumo de energia para esse processo, objetivando a viabilidade técnica e econômica da possível

implementação da economia circular na área de engenharia civil, relacionados principalmente à reutilização de concreto proveniente de resíduos de processos de demolição.



1.6 CONTEXTUALIZAÇÃO NO PPGECC

Abordam-se neste item as dissertações do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) que apresentam linhas de pesquisa relacionadas com o presente estudo. A Figura 9 ilustra as fases do ciclo de vida das edificações estudadas por diferentes autores do PPGECC, que trataram em suas pesquisas sobre assuntos relacionados ao consumo de energia das edificações, aplicando o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Monich (2012) desenvolveu uma pesquisa voltada para o dimensionamento da energia e do carbono embutido nos materiais que compõem uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira. Determinou o impacto ambiental da edificação, em termos de Energia Embutida (EE), através de uma análise do processo de manufatura da habitação.

Oba (2014) buscou explorar a prática da readequação do patrimônio arquitetônico moderno através de uma abordagem relacionada à eficiência

energética e ao conforto térmico e lumínico. Aplicou o método de ACV em um edifício modernista, na cidade de Curitiba, para quantificar o consumo energético relacionado à construção, manutenção e operação da edificação.

Oliveira (2016) desenvolveu um estudo que objetivou avaliar o desempenho ambiental do sistema construtivo *wood frame*. A pesquisa explora a EE e o CO₂ Embutido nos materiais de construção em madeira que compõem o sistema. Os quantitativos de EE e de CO₂ Embutido nos processos de extração da madeira e fabricação dos materiais foram aplicados em dois padrões construtivos de *wood frame*.

Verifica-se que a exploração dos impactos ambientais associados às edificações através do método de ACV é um tema constantemente abordado no PPGECC. Entretanto, a investigação sobre o consumo de energia na última fase do ciclo de vida das edificações, incluindo a energia para demolir e remover os resíduos confere a esta pesquisa uma parcela de originalidade dentro do programa.



FONTE: Adaptado de TAVARES (2006).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONSUMO DE ENERGIA

2.1.1 Origem da matriz energética

Durante a Revolução Industrial, que teve início na segunda metade do século XVIII, o carvão foi a principal fonte de energia, sendo usado nas máquinas movidas a vapor que dominaram os processos produtivos. No século XX, no auge do sistema capitalista, a substituição dos recursos renováveis por combustíveis fósseis acirrou-se com a utilização do petróleo, que emergiu como fonte de energia competidora do carvão mineral por ser mais eficiente e flexível em suas utilizações (SHAH, 2007).

Após a Segunda Guerra Mundial, o petróleo tornou-se a maior fonte de energia e o uso do carvão passou a um segundo plano. O sistema de produção dirigia-se a um mercado de massas, modelo padrão em todo o mundo, baseado no aumento da produtividade e na intensificação da exploração dos recursos naturais. (LUCCI e BRANCO, 2008).

Devido ao aumento da demanda por energia, a matriz energética mundial configurou-se como baseada em combustíveis fósseis. Petróleo, carvão e gás natural tornaram-se, nesta ordem, os insumos energéticos preferencialmente utilizados em todos os processos produtivos, apresentando elevadas taxas de crescimento de consumo (MOURA e MOTTA, 2013).

De acordo com o panorama feito pelo *Institute for International Economics*, a demanda de energia no mundo indica um aumento de 1,7% ao ano, de 2000 a 2030, quando deverá atingir o consumo de 15,3 bilhões tep (toneladas equivalentes de petróleo) por ano, sendo 118 milhões de barris/dia. A prevalecer este cenário, até 2030 os combustíveis fósseis responderão por 90% do aumento da demanda projetada, caso não haja mudança na matriz energética mundial (BRASIL, 2006; VICHÍ e MANSOR, 2009).

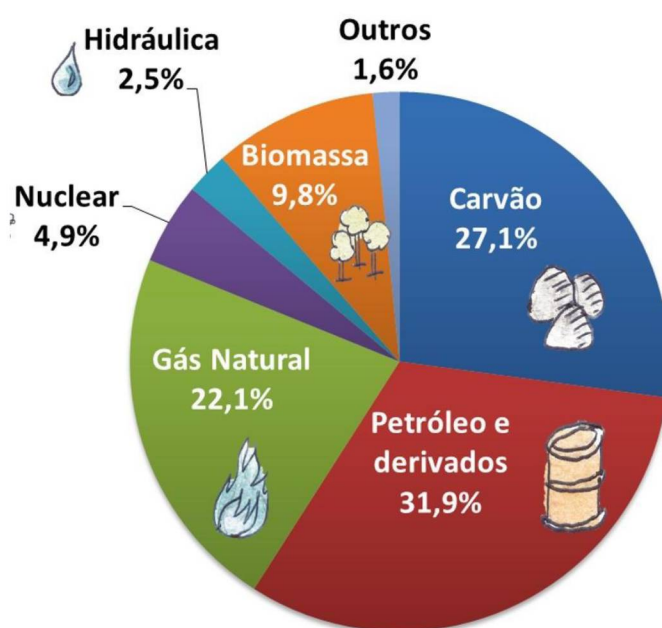
2.1.2 Panorama da energia no Brasil e no mundo

A fim de compreender o panorama da energia, se faz necessário lembrar

que a energia primária, aquela captada diretamente da natureza, é constituída por energias não renováveis e energias renováveis. Do primeiro grupo fazem parte os combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e a energia nuclear. Do segundo, a energia hidráulica (ou hidrelétrica), os biocombustíveis (obtidos de biomassa), a energia solar (fotovoltaica) e a eólica. A energia secundária é a obtida a partir das fontes primárias (por exemplo, energia elétrica, carvão mineral, gasolina etc).

Na Figura 10 abaixo é possível verificar como se distribui o consumo de energia no mundo por tipo energético. Verifica-se a prevalência do uso do petróleo e seus derivados sobre todas as outras fontes, seguido do uso do carvão mineral, a fonte de energia com maior crescimento nos últimos anos. Com menor destaque está o uso das fontes renováveis (BRASIL, 2018).

FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO MUNDO



FONTE: MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL 2016 (IEA, 2018).

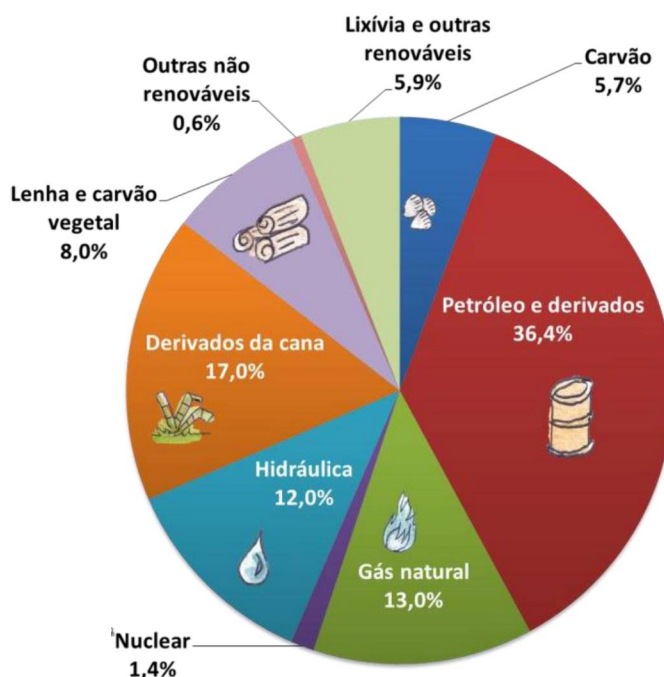
Fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, juntas correspondem a apenas 1,60% da matriz energética mundial, assinaladas como “outros” no gráfico acima. Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam 14%.

Do ponto de vista da predominância do uso do petróleo, o panorama da energia no Brasil não difere do que ocorre no mundo. O Balanço Energético

Nacional – BEN – (BRASIL, 2018), que teve 2017 como ano base, é um documento divulgado pelo Ministério de Minas e Energia que contabiliza o consumo de energia nos principais setores de atividade econômica assim como sua produção de energia por fontes primárias e secundárias. Isso pode ser visto na Figura 11 a seguir.

Embora o uso de energias renováveis seja mais presente na matriz energética brasileira na comparação com a matriz mundial, somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras energias renováveis, totalizam 42,9%, ainda assim os padrões atuais de produção e consumo de energia no Brasil e no mundo são baseados em fontes fósseis, com consequente impacto sobre o meio ambiente.

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL



FONTE: MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 2017 (BEN,2018).

2.1.3 Uso de energia na construção civil

O setor da construção civil é reconhecido como um dos ramos de atividade de maior pegada ecológica no planeta. Além de gerar 25% de todos os resíduos sólidos, consumir 25% da água disponível e ocupar 12% das terras do planeta, é o setor que mais extrai materiais do meio natural, 30%, gerando um consumo de energia entre 40 a 50% da energia total consumida. Responde também por 1/3 das

emissões de gases de efeito estufa no planeta e 35% das emissões de carbono (BENITE, 2011; ABREU, 2012).

Segundo Abreu (2012), é significativo o consumo de energia pela construção civil, tanto na extração de materiais quanto na fabricação, transporte e processamento dos insumos. De fato, as produções de cimento, aço e cal são responsáveis pelas maiores emissões industriais e as atividades de transporte desses materiais também geram emissões, basicamente pelo consumo de diesel no transporte de materiais para o canteiro de obra, desde o seu local de origem (BENITE, 2011).

No segmento de edificações, as emissões são prioritariamente provenientes do uso de energia. 10 a 20% dessas emissões estão ligados à extração e ao processamento das matérias primas, à fabricação de produtos e à etapa de construção e demolição. Os 80 a 90% restantes são geradas na etapa de operação e uso do edifício, em função do aquecimento (no caso de países do hemisfério norte), condicionamento de ar, iluminação e equipamentos (BENITE, 2011).

No Brasil, o cenário não é diferente do que ocorre no plano mundial. A construção civil é o setor que mais consome os recursos naturais extraídos no país. A operação de edifícios (residenciais, comerciais e públicos) é responsável por aproximadamente 18% de todo o consumo brasileiro de energia e 50% do consumo de energia elétrica, a maior parte advinda dos sistemas de climatização e iluminação artificial (ABREU, 2012; MEDEIROS, 2009). Quanto às emissões, um edifício comercial, por exemplo, pode apresentar emissões de 301 kg de CO₂ por metro quadrado durante a etapa de construção e de 108 kg de CO₂ por metro quadrado durante a fase de operação e uso (BENITE, 2011).

A literatura considera que o modelo adotado na construção civil está entre os modelos de produção e consumo mais ineficientes, tal qual o subsetor de edificações, uma realidade que conflita frontalmente com a ideia de construção sustentável, isto é, edificações concebidas para fazer o uso racional de recursos naturais, utilizar materiais ecologicamente corretos e alterar o mínimo possível o ambiente no qual estão inseridas (ABREU, 2012).

2.2 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DAS EDIFICAÇÕES (ACVE)

A ACVE é uma forma simplificada de conduzir uma ACV (FAY *et al.*, 2000). Esta metodologia baseia-se no método de ACV e na norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), cujo foco está no inventário de dados de consumo energético, diretos e indiretos, em todas as etapas do ciclo de vida do produto. (OLIVEIRA, 2016).

TABELA 1 – ESTUDOS NA TEMÁTICA DE ACVE

Autores	País	Berço ao Portão	Portão ao Portão	Portão ao Túmulo	Berço ao Túmulo	Berço ao Berço
Guimarães (1985)	Brasil	x	x			
Tavares (2006)	Brasil				x	
Nabut Neto (2011)	Brasil	x				
Palácio (2013)	Brasil	x				
Maciel (2013)	Brasil	x	x			
Pereira (2014)	Brasil	x				
Sposto e Pausen (2014)	Brasil	x				
Caldas <i>et al.</i> (2015)	Brasil		x			
Gouveia e Sposto (2015)	Brasil	x		x		
Oliveira (2015)	Brasil	x	x			
Mithraratne e Vale (2004)	Nova Zelândia	x	x			
Thormark (2006)	Suécia					x
Sartori e Hestnes (2007)	Noruega	x	x			
Huberman e Pearlmutter (2008)	Israel	x	x			
Rosselló-Batle <i>et al.</i> (2010)	Espanha				x	
Gustavsson e Joelsson (2010)	Suécia				x	
Kim (2011)	EUA				x	
Paulsen e Sposto (2013)	Brasil				x	
Bastos (2014)	Portugal	x	x			
Devi e Palaniappan (2014)	Índia				x	
Wen <i>et al.</i> (2015)	Malásia	x	x			
TOTAL		13	9	1	6	1

FONTE: A autora (2017).

Em um estudo de ACVE é importante definir qual será o escopo abordado, que pode ser do berço ao portão, portão ao portão, berço ao túmulo ou berço ao berço. A análise que compreende do “berço ao berço” é um estudo que considera desde a extração das matérias-primas até a destinação dos resíduos, quando estes últimos são incorporados à fase inicial de outros processos produtivos, por meio da reciclagem ou reutilização. Já a análise do "berço ao túmulo" é realizada quando a ACV é usada para analisar os potenciais impactos ambientais de produtos em todos os estágios do seu ciclo de vida (extração da matéria prima à destinação final). No estudo do "berço ao portão" considera-se o impacto da extração das matérias primas e a manufatura do material. Por fim, a análise do "portão ao portão", a qual se limita a analisar o que ocorre no interior da indústria ou operação da edificação (SILVA, 2013).

De acordo com a Tabela 1, o número de estudos que utilizaram a ACVE aplicada às edificações tem aumentado nos últimos anos, entretanto, a grande maioria desses estudos se concentra nas etapas que vão do berço ao portão e do portão ao portão.

Dentre todos os estudos analisados, nota-se somente no trabalho de Thormark (2006) a preocupação em desenvolver um conhecimento que inclui todas as fases do ciclo de vida da edificação, incluindo as etapas que vão do berço ao berço.

Nesse estudo, Thormark (2006) apresenta como a escolha do material pode afetar tanto a energia incorporada quanto o potencial de reciclagem de uma edificação. O estudo foi testado em um dos projetos residenciais mais eficientes em energia da Suécia (a energia calculada para operação da residência era de 45 kWh/m² por ano). Inicialmente, a energia incorporada era de 40% da energia total necessária para uma expectativa de vida de 50 anos.

Constatou-se que através da substituição dos materiais, a energia incorporada pode ser diminuída em aproximadamente 17% ou aumentada em cerca de 6%, de acordo com os testes feitos com cada tipo de material. Entretanto as conclusões do estudo deixam dúvidas sobre o fato de que houve aumento da energia incorporada e em outras circunstâncias houve uma redução desse valor de energia incorporada.

2.2.1 Consumo de energia na fase pós-operacional do ciclo de vida

De acordo com Tavares (2006), a energia demandada para a desconstrução de um edifício caracteriza-se pelo descarte, deposição ou reciclagem. Considera-se o total de insumos diretos para demolição ou desmontagem da edificação e o transporte dos resíduos ou materiais para reaproveitamento ou reciclagem. No presente estudo não foram considerados os materiais de reposição durante a fase de ocupação e manutenção do edifício

No trabalho de Adalberth (1997a) considera-se como energia de demolição o consumo relativo à utilização de equipamentos para derrubar a edificação, que incluem o uso de retroescavadeiras, martelos pneumáticos, tratores, entre outros.

3 ESTADO DA ARTE: CONSUMO DE ENERGIA

Observou-se na literatura que a utilização do método de ACV no desenvolvimento de pesquisas não é algo novo, porém esses estudos limitam-se a fase inicial e fase de uso das edificações. A abordagem nessa pesquisa restringe-se a uma análise dos estudos de ACV que incluem a última fase do ciclo de vida das edificações, integrando, de modo mais abrangente, o consumo de energia para demolição, remoção dos resíduos e o potencial de reuso dos componentes. Dentre a maioria dos estudos verificados foi possível observar que houveram poucas pesquisas voltadas para a investigação do consumo de energia da fase final das edificações, incluindo o escopo do berço ao berço.

3.1 CONSUMO DE ENERGIA PARA DEMOLIÇÃO

Segundo Tavares (2006), o custo energético para demolição é calculado a partir do total de material utilizado inicialmente na edificação mais os materiais de reposição. Para a consideração destes últimos, é utilizado um fator médio de reposição, sobre o total inicial. Este fator é obtido pela relação da energia embutida de manutenção e da energia embutida inicial, pelo índice médio de MJ/kg dos materiais iniciais, o que resulta em um acréscimo de 30% em kg. Entretanto nessa pesquisa não será considerado o valor de reposição dos materiais durante o ciclo de vida do edifício residencial adotado.

Segundo o relatório desenvolvido pelo *World Business Council for Sustainable Development* (2009), o consumo de energia para demolição é estimado em 92 MJ/ton como mostra a Figura 12. Este valor abrange todas as operações de demolição, exceto transporte.

Devido a este fato assume-se que a operação de britagem, que representa uma parcela significativa do consumo de energia, provavelmente não foi incluída pelo relatório do WBCSD (2009), pois quando é realizado o transporte dos resíduos, muitos componentes de grandes dimensões que são resultantes do processo de demolição precisam passar pelo processo de britagem antes de serem carregados no caminhão caçamba e, finalmente, transportados.

FIGURA 12 – CONSUMO DE ENERGIA PARA DEMOLIÇÃO

Saving energy in road construction by recycling C&DW			
Without recycling		With recycling of C&DW	
350,000 t C&DW to landfill	350,000 t primary material	52,500 t to landfill	52,500 t primary material 297,500 t secondary materials
7,900 trips to landfill + 7,900 return trips to site	7,900 trips to quarry + 7,900 return trips to site	1,200 trips to landfill + 1,250 return trips to site	1,200 trips to quarry + 1,200 return trips to site
Transport		Transport	
1.64×10^{11} MJ	1.97×10^{11} MJ	0.249×10^{11} MJ	0.805×10^{11} MJ
Energy consumption for demolition		Energy consumption for demolition and treatment	
	0.0132×10^{11} MJ		$(0.0132 + 0.0008) \times 10^{11}$ MJ
Energy consumption without recycling : 3.61×10^{11} MJ (100%)		Energy consumption with recycling : 0.818×10^{11} MJ (22.6%)	
Basic Assumptions : <ul style="list-style-type: none"> • Recovery rate: 85% • Payload of truck: 44 tonnes • Energy consumption for transport of material: 1.22 MJ per ton and km • Energy consumption for CDW treatment: 285 MJ per ton • Energy consumption for demolition: 92 MJ per ton 		Source: Pavement 154, 1989, Recycling of Portland Cement Concrete	

FONTE: WBCSD (2009).

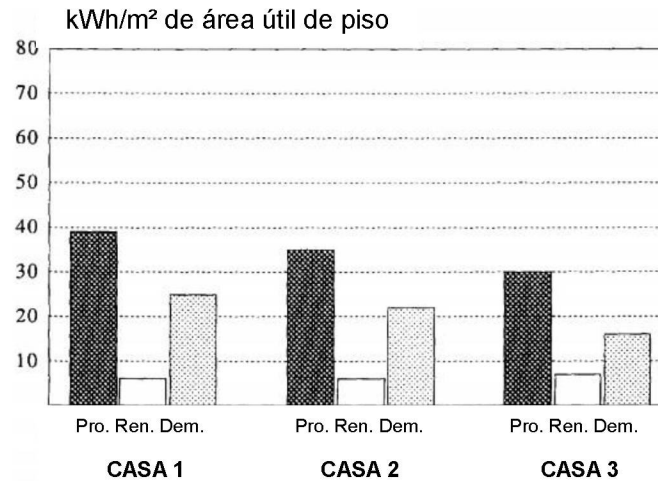
Além dos dados apresentados por Thormak (2006), o valor do consumo de energia para demolição apresentado no relatório do *World Business Council for Sustainable Development* (2009) foi o único valor de consumo de energia para demolição encontrado na literatura. No trabalho, admitiu-se para o consumo de energia para demolição o valor de 92 MJ/ton, o que concorda também com os dados publicados por Thormak (2006).

3.2 CONSUMO DE ENERGIA PARA REMOÇÃO DOS RESÍDUOS

No trabalho desenvolvido por Adalberth (1997b), foram estudadas três habitações uni familiares comuns, pré-fabricadas, localizadas na Suécia, construídas entre os anos de 1991 e 1992. Observou-se nesse estudo, que no caso do transporte de materiais de demolição, as rotas feitas pelos caminhões não eram as mesmas quando comparadas com as rotas de transporte quando os materiais eram transportados dos seus fabricantes até o local de construção. Assumiu-se então, que havia uma usina de reciclagem de resíduos no município onde as habitações estão localizadas e a distância até esta usina é de 20 km.

A Figura 13 ilustra a energia utilizada em transporte considerando todas as etapas do ciclo de vida das três edificações estudadas por Adalberth (1997b).

FIGURA 13 – ENERGIA DE TRANSPORTE – PRODUÇÃO, RENOVAÇÃO E DEMOLIÇÃO



FONTE: Adaptado de ADALBERTH (1997b).

As discrepâncias na energia de transporte associadas à produção são devidas a diferentes quantidades de materiais, bem como as posições relativas das fábricas onde os elementos são fabricados e o local de construção. A energia de transporte usada durante a renovação das edificações é a mesma para as três habitações, e por fim, as diferenças na energia de transporte durante a demolição devem-se também as diferentes quantidades de materiais, já que as residências possuem diferentes tamanhos.

FIGURA 14 – USO DE ENERGIA NO CICLO DE VIDA DOS TRÊS MODELOS ESTUDADOS

Phases	House 1 (kWh/m ² · 50 yr)	%	House 2 (kWh/m ² · 50 yr)	%	House 3 (kWh/m ² · 50 yr)	%
Production						
Manufacturing	900	11	870	100	730	10
Transportation	40	0	40	0	30	0
Erection	80	1	70	1	50	1
Management						
Occupation	7100	83	7400	85	6400	85
Renovation: manufacturing	390	5	370	4	330	4
Renovation: transportation	< 10	0	< 10	0	< 10	0
Destruction						
Demolition	10	0	< 10	0	< 10	0
Removal: transportation	30	0	20	0	20	0
Total energy (kWh/m ² · 50 yr)	8500	100	8800	100	7600	100

FONTE: Adaptado de ADALBERTH (1997b).

Na Figura 14 é possível observar o consumo total de energia em transporte, em kWh/m², para os três modelos estudados.

O método desenvolvido e utilizado por Adalberth (1997a) para verificar a quantidade de energia para o transporte dos materiais consta na equação (1) abaixo:

$$E_{transporte} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot D_i \cdot T_c \quad (1)$$

Onde:

n = número de materiais

i = tipos de materiais

m = massa (ton)

w_i = fator de desperdício (%)

D_i = distância percorrida até o local de destino (km)

T_c = consumo específico de energia (kWh/ton km)

3.3 POTENCIAL DE REUSO DOS COMPONENTES

A reutilização dos materiais e componentes é mais adequada do ponto de vista da reciclagem. Apesar disso, a maioria dos materiais que podem ser reutilizados é reciclada, ou ainda, nem são reciclados ou reutilizados. Por exemplo, as taxas de reciclagem de aço no Reino Unido e nos EUA são de 86% e 97%, respectivamente, mas com pouca ou nenhuma reutilização direta (LEE, TRCKA e HENSEN 2011).

A reutilização de materiais de construção e demolição para o mesmo propósito que seu uso original pode economizar até 95% da energia incorporada, já que há pouco ou nenhum processamento envolvido. A reciclagem de materiais, através de reprocessamento e remanufatura, é geralmente menos eficiente (SATTARY e THORPE, 2012), como observado no estudo desenvolvido por Thormark (2002) sobre os resíduos de demolição de um edifício real que mostrou

um potencial de recuperação de energia incorporada através da reciclagem de 37 a 42%.

Um estudo sobre o uso de energia no ciclo de vida mostra que a renovação periódica e a manutenção de um edifício, ao longo de um período de cinquenta anos, pode representar mais do que a energia incorporada inicial (YOHANIS e NORTON, 2002). Se os materiais e componentes removidos durante a renovação forem enviados para aterro, a energia incorporada perdida pode ser maior do que a energia incorporada inicial do edifício. O potencial para recuperar a energia incorporada através da reciclagem e reutilização é significativo.

Um estudo conduzido por Thormark (2001) objetivou verificar o potencial de reciclagem dos resíduos de demolição e relacionar isso com a energia utilizada para a produção e operação de uma nova edificação na Suécia.

Os processos incluídos na Avaliação do Ciclo de Vida realizada por Thormark (2001) foram: fabricação de materiais de construção, o transporte para o local de construção, manutenção e operação. A energia incorporada total ao longo do ciclo de vida e o potencial de reciclagem foram calculados e comparados com a energia total necessária para a fase de operação do edifício.

Para o cálculo da energia consumida no transporte de resíduos de demolição, a autora assumiu os seguintes pressupostos: 75% de todos os materiais, com exceção dos componentes de concreto e cerâmico, eram transportados, em média, 350 km com um caminhão grande, 70% preenchido e 90 km com um caminhão médio, 50% preenchido. Estima-se que componentes de concreto e cerâmicos eram transportados 75 km com um caminhão de tamanho médio. Tendo em vista estes pressupostos, a energia total necessária para o transporte de resíduos de demolição foi calculada em 44 kWh/m².

As distâncias atribuídas para o transporte dos resíduos até os locais de reciclagem ou deposição final são apresentadas na Tabela 2.

De acordo com Crowther (2001), há muito tempo se considera que a energia usada para operar os edifícios (iluminação, aquecimento, ar condicionado, etc.) é o único componente significativo do seu uso de energia no ciclo de vida completo; que o uso de energia para construí-los (energia incorporada) é muito pequeno em comparação. Dessa maneira, a maior parte das pesquisas em edifícios energeticamente eficientes concentrou-se na energia operacional. Entretanto, em

um estudo realizado por Troy *et al.*, (2003) apontou que o consumo de energia incorporado pode ser mais significativo do que se pensava anteriormente.

TABELA 2 – DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE PARA ATERROS E USINAS DE RECICLAGEM

Processo	Distância do transporte (km)
Aterro sanitário	30
Usina de incineração	80
Usina de reciclagem de blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, dentre outros	30
Usina de reciclagem de outros materiais	50
Usina recicladora de lã mineral	360
Usina recicladora de placa de gesso	260

FONTE: THORMARK (2001).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos utilizados para realização da análise do consumo de energia na fase pós-operacional do ciclo de vida da edificação. Essa metodologia foi posteriormente aplicada em uma edificação residencial, a qual está descrita no Capítulo 5.

4.1 CONSUMO TOTAL DE ENERGIA PARA DEMOLIÇÃO

Inicialmente, de acordo com o estudo desenvolvido por Tavares (2006), a energia de demolição total é obtida a partir do consumo de energia nos processos de demolição e remoção dos resíduos, demonstrada na equação (2):

$$E_{total\ demolição} = E_{demolição} + E_{remoção} \quad (2)$$

A partir da equação (2), verificou-se a necessidade de fracionar a parte que compreende a remoção dos resíduos do canteiro de demolição. A proposta do estudo, inicialmente, fracionou a equação acima em três outros processos, conforme exposto na equação (3).

$$E_{total\ demolição} = E_{demolição} + \overbrace{E_{carregamento} + E_{transporte} + E_{descarregamento}}^{E_{remoção}} \quad (3)$$

A energia de demolição, $E_{demolição}$, compreende a atividade de quebrar as paredes internas e externas, pilares, vigas, enfim, derrubar a estrutura que constitui o edifício.

A energia que compreende a remoção dos resíduos considera a energia de carregamento, transporte e o descarregamento destes resíduos no local de reciclagem. A energia de carregamento, $E_{carregamento}$, inclui o consumo de energia de pás carregadeiras. A energia para o transporte, $E_{transporte}$, considera o consumo

de energia de um caminhão caçamba que servirá para transportar os resíduos até a usina de reciclagem destes materiais. Por fim, a energia de descarregamento, $E_{\text{descarregamento}}$, a qual considera a energia do caminhão caçamba para descarregar os materiais no local de reciclagem.

O processo de demolição de uma edificação possibilita a destruição de toda a estrutura, entretanto, os resíduos que constituem os escombros são desiguais, ou seja, são compostos por resíduos completamente triturados, resíduos de granulometria média e por resíduos com grandes dimensões que impossibilitam o transporte sem que antes seja feito algum processo de refinamento do material, neste caso, um processo de trituração. Na Figura 15 observa-se a desigualdade nos tamanhos dos escombros oriundos de um processo de demolição.

FIGURA 15 – ESCOMBROS ORIUNDOS DO PROCESSO DE DEMOLIÇÃO



FONTE: A autora (2017).

Diante do exposto, adota-se uma das estratégias utilizadas no estudo desenvolvido por Hameed e Chini (2010), que inclui a utilização de um triturador móvel no canteiro de demolição, o qual serve para reduzir as dimensões de grandes escombros. Inclui-se neste processo de trituração no canteiro, dois dos materiais selecionados para análise, sendo alvenaria e concreto.

Desta forma, mostra-se necessário o desdobramento da equação (3), incluindo-se também o consumo de energia para o processo de trituração do material, equação (4), no canteiro de demolição, a fim de proporcionar um melhor aproveitamento da capacidade do caminhão quando este material for transportado até outro local.

$$\begin{aligned}
 E_{total\ demolição} &= E_{demolição} + E_{carregamento} + \overbrace{E_{britagem} + E_{transporte}}^{E_{transporte}} + E_{descarregamento} \\
 &\quad (4)
 \end{aligned}$$

A energia para britagem, $E_{britagem}$, considera o consumo de energia de um triturador instalado no canteiro de demolição.

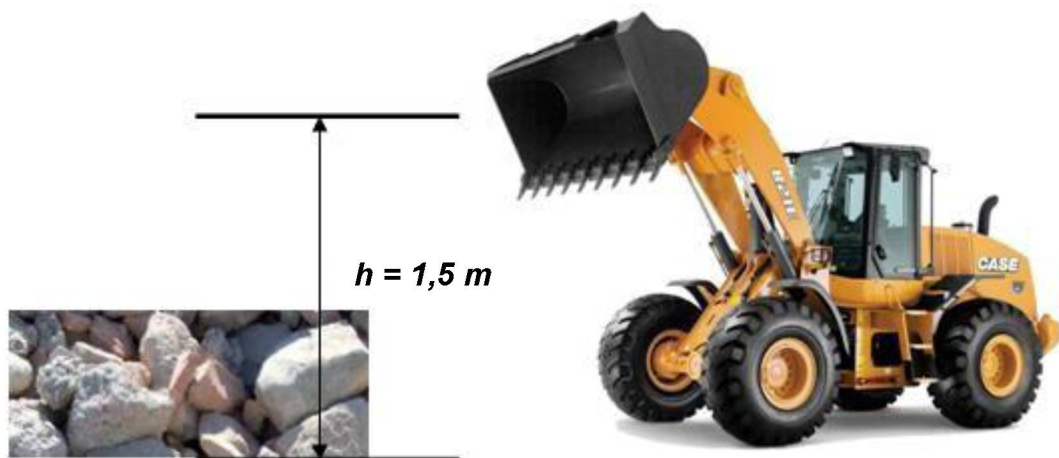
4.2 CONSUMO DE ENERGIA PARA A REMOÇÃO DE RESÍDUOS

No cenário relacionado à remoção dos resíduos, o uso de energia se faz necessário sempre que os materiais precisam ser movidos de um local até outro, seja na fase de fabricação, montagem ou demolição.

De acordo com Adalberth (1997a), a fonte de energia relevante para o transporte constitui-se por combustíveis fósseis. Uma justificativa, segundo a autora, para a diferença de energia consumida entre o transporte feito por caminhões para longas ou curtas distâncias tem relação direta com o tipo de estrada que será utilizada para fazer esse deslocamento.

4.2.1 Consumo de energia para o carregamento

FIGURA 16 – PÁ CARREGADEIRA



FONTE: Adaptado de CASE (2017).

Para o carregamento dos resíduos no caminhão basculante, se faz necessário o uso de pás carregadeiras (Figura 16), que servem para carregar os resíduos no caminhão caçamba, potencializando o tempo de serviço.

A seguir admitiu-se nesse trabalho, para o cálculo do consumo de energia de carregamento com a equação (6), que as pás carregadeiras devem erguer até 1,5 metros qualquer peso a ser colocado no caminhão caçamba.

$$E_{\text{carregamento}} = \left(\frac{1}{\eta}\right) \sum_{i=1}^n m_i \cdot g \cdot h \quad (6)$$

Onde:

n = número de materiais

i = tipos de materiais resultantes da demolição

m = massa (kg)

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

h = altura estimada para o carregamento (m)

η = eficiência energética do equipamento de carregamento

4.2.2 Consumo de energia para a britagem de resíduos

FIGURA 17 – TRITURADOR DE MANDÍBULAS



FONTE: CMWI (2017).

Para a britagem dos resíduos no canteiro de demolição considerou-se um triturador de mandíbulas (Figura 17), geralmente usado como triturador primário em linhas de produção de pedreiras.

Na Tabela 3, observam-se as características do triturador de mandíbula de acordo com as especificações técnicas.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICA DO TRITURADOR DE MANDÍBULA

Modelo	Abertura de alimentação (mm)	Abertura de descarga (mm)	Capacidade (ton/h)	Velocidade (r/min)	Potência (kW)
PE500x750	500x750	50 – 100	45 - 100	275	55

FONTE: CMWI (2017).

O valor da capacidade do triturador desconsiderou a hipótese de operação do motor em sua capacidade máxima por todo o tempo, o ideal seria a utilização do valor médio da capacidade do triturador, conforme faixa indicada na Tabela 3, entretanto optou-se por utilizar uma capacidade de britagem de 60 ton de resíduos/h. Isso justificado pelo fato de que o triturador vai processar entulhos de concreto estrutural que são em geral mais resistentes.

O consumo de energia do triturador foi calculado a partir da equação (7):

$$E_{britagem} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{C} \cdot P$$

(7)

Onde:

n = número de materiais triturados

i = tipos de materiais triturados

m = massa (ton)

C = capacidade do triturador (ton/h)

P = potência do triturador (kW)

4.2.3 Consumo de energia no transporte de resíduos

O cálculo do consumo energético relevante em transportes, $E_{transp.demol}$, na fase pós-operacional do ciclo de vida da edificação foi realizado a partir do método desenvolvido por Adalberth (1997a), descrito pela equação (8):

$$E_{transp.demol} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot D_i \cdot T_e \quad (8)$$

Onde:

n = número de materiais

i = tipos de materiais

m = massa (ton)

w_i = fator de desperdício (%)

D_i = distância percorrida até o local de destino (km)

T_e = consumo específico de energia (kWh/ton/km)

O fator de desperdício (w_i) de cada material foi coletado a partir dos estudos desenvolvidos por Larsson (1983), conforme disposto na Tabela 4:

TABELA 4 - FATOR DE DESPERDÍCIO DO MATERIAL w_i (%)

Materiais	w_i (%)
Concreto, reforço	20
Concreto simples	10
Painel de parede de gesso	10
Madeira: serra áspera (0.5 ton/m³)	10
Madeira: planada (0.5 ton/m³)	10
Madeira: telhas e aparas (0.6 ton/m³)	7
Polietileno	5
Poliestireno	10
Revestimento: tintas e lacas	5
Aço	5

FONTE: LARSSON (1983).

De acordo com Tillman *et al.* (1991), a energia necessária para o transporte (T_e), pode variar de acordo com diferentes tipos de transportes, conforme descrito na Tabela 5 a seguir:

TABELA 5 - USO DE ENERGIA PARA VÁRIOS TIPOS DE TRANSPORTE

Meios de transporte	Energia de transporte, T_e kWh/(ton km)
Estrada, longa distância (distância > 50 km)	0,28
Estrada, curta distância (distância ≤ 50 km)	0,75
Navio costeiro	0,13
Transporte marítimo	0,06

FONTE: TILLMAN *et al.* (1991).

Para o desenvolvimento do cálculo, utilizou-se a referência para transporte em estradas com curta distância, visto que a diferença entre o local de implantação da edificação e a usina de reciclagem é menor que 50 km, conforme descrito no Capítulo 5 a seguir.

4.2.3.1 Modelo de caminhão adotado

TABELA 6 – CARACTERÍSTICA DO CAMINHÃO UTILIZADO PARA O TRANSPORTE

Marca	Modelo	Potência do motor (kW)	Capacidade de carga (m³)	Consumo de combustível (km/l)	
				Tara 15.800 kg	Tara 42.000 kg
Iveco	Tector 260E28	206	12	4,5	2,5*

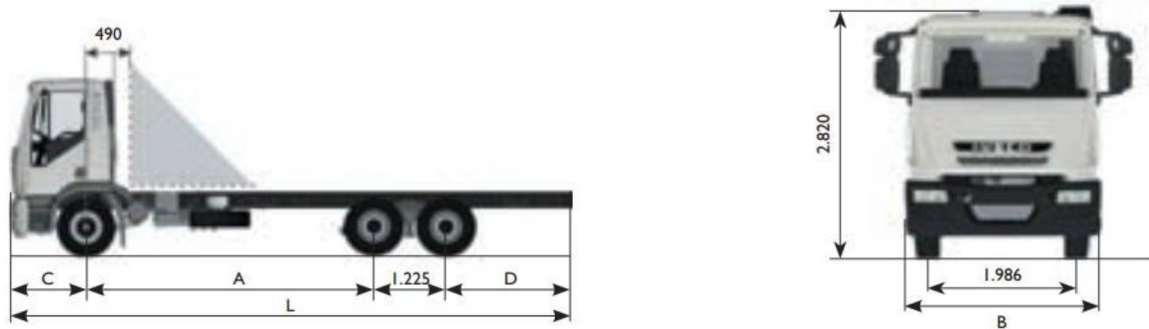
FONTE: IVECO (2015).

NOTA: O percurso específico médio do caminhão carregado é de 2,5 km/l em estradas planas, podendo variar para 1,5 km/l em estradas com aclives.

Para o transporte desses detritos, são utilizados pela maioria das empresas coletoras, caminhões do tipo basculante, cujas características do modelo são apresentadas na Tabela 6, de acordo com as especificações técnicas.

Na fase pós-operacional do ciclo de vida, os resíduos provenientes das demolições, em sua maioria, são retirados do local de desmonte através destes caminhões basculantes que fazem o transporte até os pontos de reciclagem ou eliminação final. A Figura 18 a seguir, apresenta um esquema do modelo de caminhão.

FIGURA 18 – MODELO DE CAMINHÃO UTILIZADO NO TRANSPORTE DE RESÍDUOS



FONTE: IVECO (2015).

4.2.3.2 Distância percorrida para o transporte de resíduos

FIGURA 19 – DISTÂNCIA ENTRE A EDIFICAÇÃO E A USINA DE RECICLAGEM



FONTE: Adaptado de GOOGLE EARTH (2017).

As distâncias entre a edificação em estudo, descrita no Capítulo 5, o aterro sanitário e a usina de reciclagem de resíduos de construção foram obtidas através de visita realizada até o local, visto que no município onde a edificação está localizada há um aterro sanitário e uma usina de reciclagem, conforme pode ser visto na Figura 19.

Para efeitos de cálculo, assumiu-se neste estudo que a distância percorrida para o transporte de todos os resíduos provenientes de demolição, seja em pequena ou grande quantidade, é de 47 km (distância entre a edificação e a usina de reciclagem ou o aterro sanitário).

FIGURA 20 – DISTÂNCIA ENTRE A EDIFICAÇÃO E AS UNIDADES DE RECICLAGEM



FONTE: Adaptado de GOOGLE EARTH (2017).

As distâncias percorridas até as recicladoras de diferentes materiais (Figura 20), tais como gesso, plásticos, vidro, dentre outros, foram desconsideradas nesse estudo, tendo em vista que a quantidade destes materiais no estudo de caso adotado é desprezível. Entretanto, foi investigado junto à empresa coletora do município de União da Vitória – PR quais os locais que esses resíduos são usualmente levados, a fim de verificar as reais distâncias percorridas até as usinas recicladoras dos materiais acima relacionados. Essas distâncias foram calculadas a partir do *Google Maps* e encontram-se descritas na Tabela 7.

TABELA 7 - DISTÂNCIAS DE TRANSPORTE PARA USINAS DE RECICLAGEM DE DIFERENTES MATERIAIS

Processo	Empresa	Local	Distância do transporte (km)
Usina de incineração	Incinerar	Senador Canedo - GO	1.301
Usina recicladora de lã mineral e vidro	WPA Ambiental	Pato Branco - PR	219
Usina recicladora de placa de gesso	REC Gesso	Curitiba - PR	242
Usina recicladora de PVC	PVC Max	Londrina - PR	506

FONTE: A autora (2017).

De acordo com a Tabela 7, observa-se que o transporte dos resíduos para as recicladoras citadas torna-se inviável, portanto foi desconsiderado para esse estudo o transporte dos materiais para diferentes usinas de reciclagem, já que na edificação adotada, a quantidade desses resíduos é pequena, como pode ser visto no quantitativo de materiais apresentado no Apêndice 1.

De acordo com a aplicação da metodologia proposta para essa pesquisa, foram adotados para a análise os valores referentes ao quantitativo de alvenaria, aço, concreto e madeira. Os demais materiais, incluindo gesso, plásticos, vidro e ferro, não foram incluídos nos cálculos já que a usina de reciclagem do município não recicla ou reutiliza esses materiais. Além do que, a quantidade desses materiais presentes no estudo de caso adotado é muito pequena para efeitos de cálculo.

4.2.4 Consumo de energia para o descarregamento

Para o descarregamento dos resíduos do caminhão basculante no local de armazenamento, utilizou-se a altura de 2,0 metros entre a caçamba e o nível do solo, onde os resíduos devem ficar acomodados, como visto no esquema da Figura 21.

FIGURA 21 - CAMINHÃO BASCULANTE



FONTE: Adaptado de IVECO (2015).

A seguir admitiu-se nesse trabalho, para o cálculo do consumo de energia de descarregamento com a equação (9), que o caminhão deve bascular levantando

minimamente até 2,0 metros o centro de massa da caçamba como mostrado na Figura 22.

O consumo de energia para o descarregamento dos resíduos na usina de reciclagem foi calculado a partir da equação (9):

$$E_{\text{descarregamento}} = \left(\frac{1}{\eta}\right) \sum_{i=1}^n m_i \cdot g \cdot h$$

(9)

Onde:

n = número de materiais

i = tipos de materiais

m = massa (kg)

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

h = altura estimada para o descarregamento (m)

η = eficiência energética do equipamento de descarregamento

5 ESTUDO DE CASO

Este capítulo tem como objetivo fazer a descrição da edificação que será analisada no decorrer do estudo, apresentando os desenhos que compõem o projeto arquitetônico do edifício, tais como localização, plantas baixas, vistas panorâmicas, dentre outros. Além do quantitativo de materiais utilizados na construção do edifício, conforme o Apêndice 1. A maior parte da composição do quantitativo de materiais foi baseada nos índices publicados nas TCPO versão 14 (TCPO, 2012).

FIGURA 22 – LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO



FONTE: Adaptado de GOOGLE EARTH (2017).

5.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O local de implantação da edificação localiza-se a 242 km a oeste da capital do estado do Paraná, Curitiba, na cidade de União da Vitória (Figura 22). O terreno situa-se na Rua Frei Policarpo, no bairro São Bernardo e possui 935,00 m².

Segundo o Plano Diretor Municipal (2008), a área está localizada na Zona urbana de alta densidade (ZAD), a qual permite a construção de edificações do tipo edifício residencial. A Figura 23 apresenta as características da ocupação do solo urbano do município de União da Vitória, bem como seus índices urbanísticos para a Zona Urbana de Alta Densidade.

FIGURA 23 – CARACTERÍSTICAS DA OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO

Zona	Sigla	Coef. de aproveitamento		Taxa de ocupação (%)		Altura máxima da edificação (m) (3)			Tamanho mínimo do lote		Recuos mínimos (m)						Impermeabilização Máxima (%)
		Básico	Máximo	Base	Torre	Base	Torre	Total	Área (m²)	Frente (m)	Frontal	de esquina (4)	Laterais		Fundos		
													Base	Torre	Base	Torre	
Zona urbana de preservação ambiental	ZPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zona urbana de uso restrito	ZUR	0,30	0,30	10%	-	6,00	-	6,00	1.000	20,00	8,00	4,00	3,00	-	3,00	-	10%
Zona urbana de densidade muito baixa	ZDM	0,50	0,50	30%	-	6,00	-	6,00	350	14,00	4,00	2,00	1,50	-	-	-	40%
Zona urbana de baixa densidade	ZBD	1,00	1,00	50%	-	6,00	-	6,00	300	12,00	4,00 (5)	2,00	(6)	-	(6)	-	60%
Zona urbana de média densidade	ZMD	1,00	2,00	70%	50%	6,00	12,00	18,00	250	10,00	4,00 (5)	2,00	(6)	h/6(1)	(6)	h/6(1)	80%(2)
Zona urbana de alta densidade	ZAD	1,00	4,00	90%	60%	6,00	30,00	36,00	200	8,00	4,00 (5)	2,00	(6)	h/6(1)	(6)	h/6(1)	100%(2)
Zona de indústrias leves e serviços pesados	ZIL	0,50	0,50	50%	-	6,00	-	6,00	1.000	20,00	8,00	4,00	1,50	-	1,50	-	60%
Zona de indústrias pesadas	ZIP	0,30	0,30	30%	-	6,00	-	6,00	3.000	30,00	12,00	6,00	3,00	-	3,00	-	40%
Zona especial de transição urbano-rural	ZET	0,50	0,50	30%	-	6,00	-	6,00	350	14,00	4,00	2,00	1,50	-	1,50	-	40%

FONTE: Adaptado de PLANO DIRETOR MUNICIPAL (2008).

5.2 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Adotou-se nesta pesquisa um edifício residencial (Figura 24), medindo 22,00 metros de frente por 17,00 metros de profundidade, com pé direito útil de aproximadamente 3,0 metros.

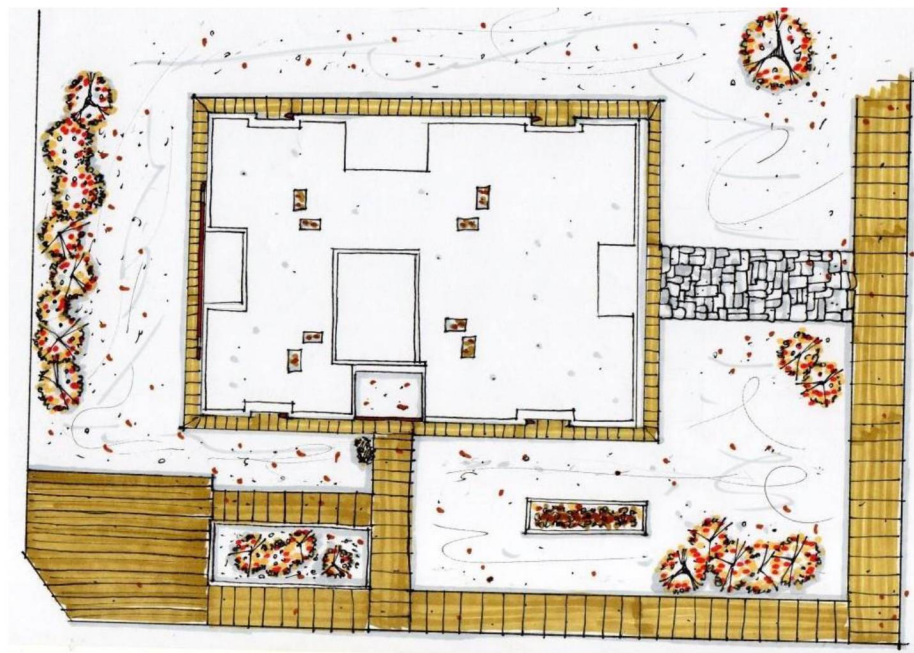
Através da planta de implantação do edifício, Figura 25, observa-se a localização do terreno, recuos adotados e o acesso principal.

FIGURA 24 – PERSPECTIVA EDIFÍCIO RESIDENCIAL



FONTE: A autora (2017).

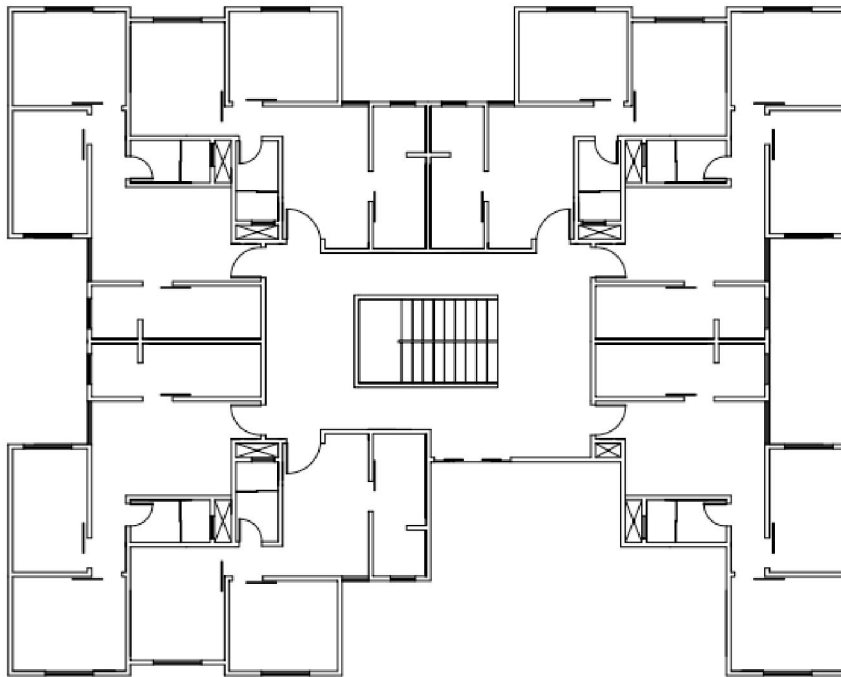
FIGURA 25 – IMPLANTAÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO



FONTE: A autora (2017).

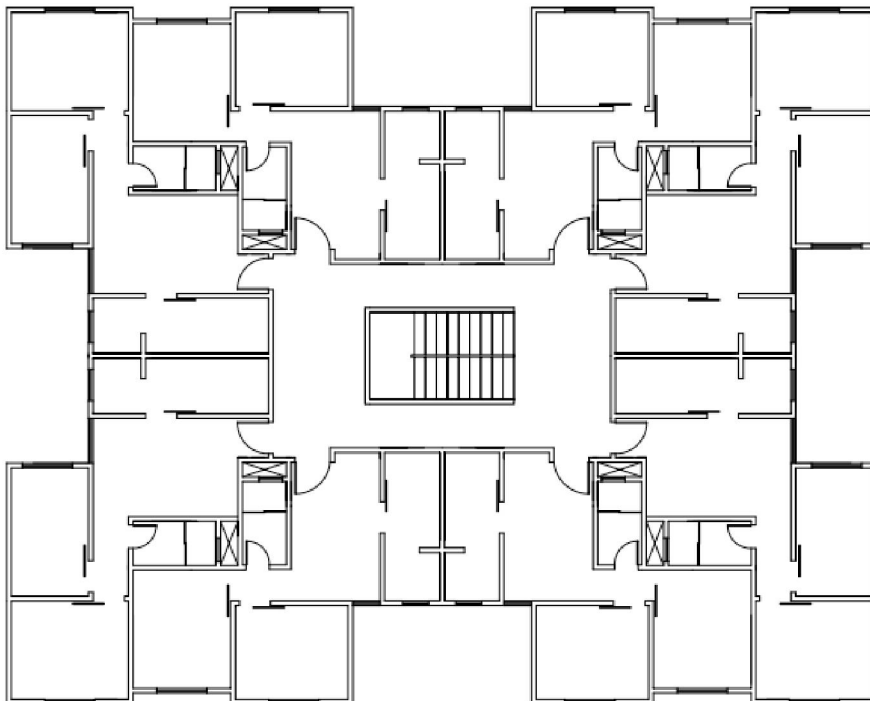
O edifício é composto pelo pavimento térreo e mais três pisos. A Figura 26 apresenta a planta baixa do pavimento térreo do edifício e a Figura 27, a planta baixa dos demais pavimentos, denominados “pavimentos-tipo”.

FIGURA 26 – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TÉRREO



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 27 – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO-TIPO



FONTE: A autora (2017).

O pavimento térreo constitui-se por sete apartamentos e mais a área comum, com 40,9 m², já o pavimento-tipo dispõe de oito apartamentos e mais a área comum.

Cada um dos pavimentos da edificação é composto por dois modelos de apartamentos. O apartamento de modelo 01 (Figura 28) possui 35,54 m² e o apartamento de modelo 02 (Figura 29) possui 38,40 m². Desta forma, a área total de cada pavimento constitui-se por quatro apartamentos do modelo 01, mais quatro apartamentos do modelo 02, além da área comum, totalizando 336,66 m² por pavimento.

FIGURA 28 – MODELO DE APARTAMENTO 01



FONTE: A autora (2017).

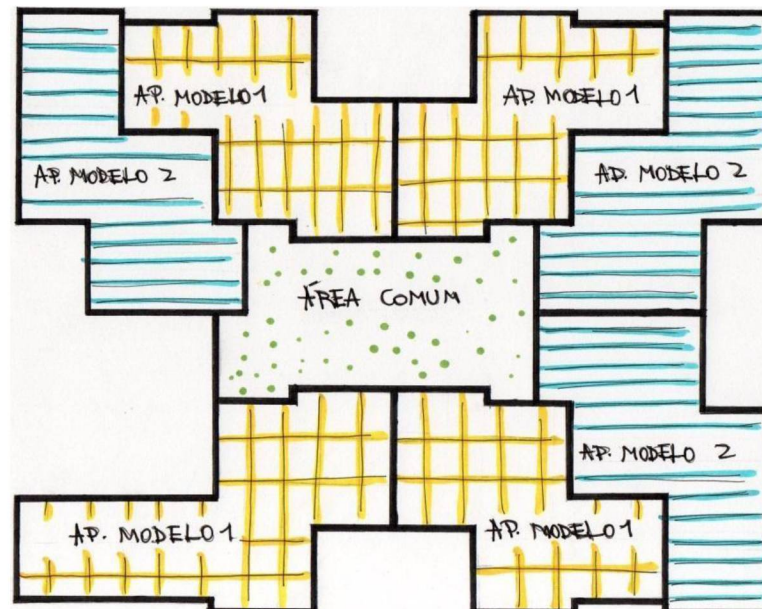
FIGURA 29 – MODELO DE APARTAMENTO 02



FONTE: A autora (2017).

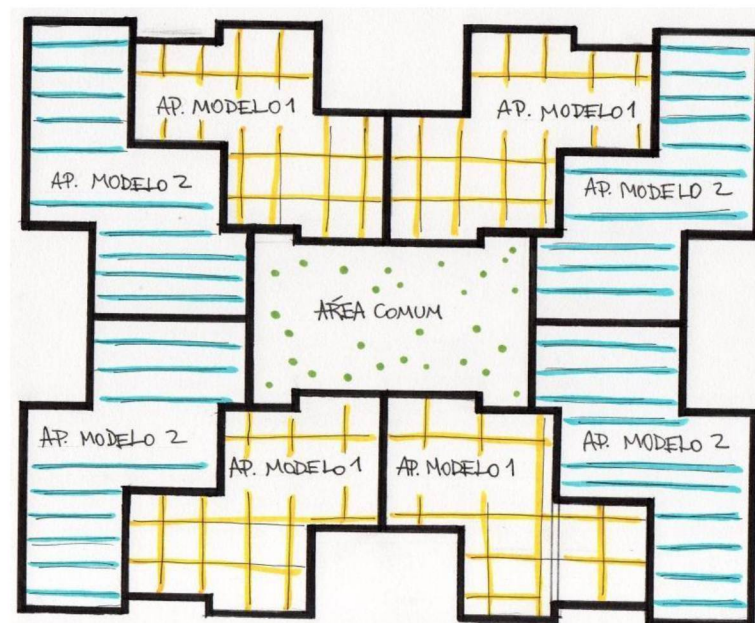
Na Figura 30 a seguir, apresenta-se a distribuição dos apartamentos e a área comum do pavimento térreo e na Figura 31, indica-se a distribuição dos apartamentos e a área comum do pavimento-tipo.

FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO DOS APARTAMENTOS E ÁREA COMUM – PAVIMENTO TÉRREO



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 31 – DISTRIBUIÇÃO DOS APARTAMENTOS E ÁREA COMUM – PAVIMENTO-TIPO



FONTE: A autora (2017).

A Figura 32 apresenta uma vista panorâmica do edifício residencial da parte dos fundos da edificação.

FIGURA 32 – PERSPECTIVA EXTERNA – VISTA DOS FUNDOS



FONTE: A autora (2017).

A Tabela 8 aponta, de maneira resumida, as características gerais da edificação em estudo.

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DO EDIFÍCIO

Características	Edifício
Número de pavimentos	4
Número de apartamentos	31
Número de apartamentos modelo 01	16
Número de apartamentos modelo 02	15
Altura do pé-direito (m)	3
Área total construída (m²)	1.385,84

FONTE: A autora (2017).

Assumiu-se para o resultado da área total construída do prédio: a área dos apartamentos de modelo 01 e 02, a área comum e a área do pavimento técnico no terraço, com 39,2 m².

A infraestrutura e a superestrutura do prédio foram desenvolvidas em concreto armado. A cobertura em laje impermeabilizada com manta térmica. Os fechamentos e divisórias internas em alvenaria não estrutural e as esquadrias em PVC para as janelas e madeira para as portas.

5.3 DESCONSTRUÇÃO: PROPOSTAS ARQUITETÔNICAS DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A EDIFICAÇÃO ADOTADA

O edifício residencial acima relacionado segue padrões construtivos convencionais, ou seja, a maneira como foi projetado não seguiu princípios de sustentabilidade ou *ecodesign*. Sua composição arquitetônica não facilita uma desconstrução ao final de sua vida útil, ou seja, uma desmontagem e remoção dos componentes estruturais de maneira organizada e separadamente, isso iria implicar em um modo de demolição tradicional, resultando em um volume considerável de entulhos, que por sua vez, teriam dificuldades para serem reciclados e reutilizados em novas edificações.

FIGURA 33 – DESCONSTRUÇÃO DE SILOS ANTIGOS EM COPENHAGUEN



FONTE: WBCSD (2009).

Dito isso e inspirada em um caso ocorrido em Copenhaguen, onde houve um exemplo de desconstrução de silos antigos para reconstrução visando uso residencial (Figura 33), pensou-se em apontar possíveis soluções para que o projeto arquitetônico do edifício residencial em estudo pudesse ser desconstruído no final do seu ciclo de vida e seus componentes de vedação fossem capazes de ser reutilizados em sua forma original em uma nova edificação.

Uma das soluções para a proposta de adequação do edifício residencial a fim de facilitar a desconstrução, deveria partir ainda da fase de projeto, onde ao invés de projetar paredes compostas por tijolos, argamassa e revestimentos de qualquer natureza, passariam, por exemplo, ser utilizadas placas de concreto que possuem a mesma função de vedação quando comparadas com a parede de alvenaria tradicional, entretanto essas placas de concreto podem ser desmontadas sem serem quebradas e assim reutilizadas em uma nova construção. A estrutura do prédio continuaria sendo executada em concreto armado.

Outra possível solução é a proposta em arquitetura modular, que entra nesse contexto como sendo uma boa alternativa quando se pretende propor um projeto que visa maximizar a desmontagem no final do ciclo de vida de uma edificação. Esse tipo de arquitetura intenciona adaptar os espaços sem que haja a necessidade de quebrar as divisórias entre os cômodos. Isso contribui para melhorar a flexibilidade dos ambientes em um projeto, além de poupar o uso de energia para demolir tudo ao final do ciclo de vida.

As construções modulares visam integrar, simplificar e otimizar todas as fases de uma obra, desde a elaboração do projeto, montagem, transporte, implantação até conclusão da obra, reduzindo o tempo de construção em comparação ao sistema tradicional.

Ressalta-se nessa seção que o estudo visa calcular o consumo de energia para demolição. As possíveis soluções de readequação do edifício residencial acima apontadas, surgiu com a intenção de esclarecer o conceito de desconstrução de edifícios com vista para a possível redução de custos energéticos no final dos seus ciclos de vida conforme o modelo de economia circular, entretanto, o projeto arquitetônico utilizado como estudo de caso não passará por readequações no decorrer dessa pesquisa.

6 RESULTADOS

Nesta seção constam os resultados obtidos através da aplicação da metodologia no estudo de caso abordado nessa pesquisa.

6.1 QUANTIDADE DE MATERIAIS DE DEMOLIÇÃO

Selecionaram-se para a análise os materiais que apresentaram maior quantidade (m^3) de acordo com os resultados obtidos no quantitativo (Apêndice 1) desenvolvido para o estudo de caso adotado. Na Tabela 9, descrevem-se os materiais e suas respectivas quantidades em m^3 . Para obter a massa de detritos em kg, buscou-se o peso específico de cada material.

TABELA 9 – MATERIAIS ADOTADOS PARA O CÁLCULO

Material	Quantidade (m^3)	Massa específica* (kg/m^3)	TOTAL (massa de detritos - kg)
Aço	2,75	7.800	21.450
Alvenaria**	753,05	2.100 – 2.300	1.732.015
Concreto	283,30	2.100 – 2.300	651.590
Madeira	30,22	600	18.132

FONTE: A autora (2017).

NOTA: *Massa específica de cada material foi retirada de PRODETEC (2017).

**Contabilizou-se o volume (m^3) de alvenaria somando o volume de chapisco/reboco/emboço, conforme especificado no APÊNDICE 1.

6.2 CONSUMO DE ENERGIA DO CAMINHÃO CAÇAMBA

Conforme descrito na seção 4.2.3.1, admitiu-se que o modelo de caminhão adotado para o transporte dos resíduos de demolição, tem uma capacidade de carga de $12 m^3$. Para efeitos de cálculo, admitiu-se que a capacidade de carga máxima do caminhão é de 20.000 kg.

O consumo de combustível do caminhão, em média, quando vazio é de 4,5 km/l. Quando carregado, o consumo de combustível pode variar entre 1,5 km/l e 2,5 km/l, de acordo com o relevo das estradas. Para efeitos de cálculo, assumiu-se o valor de 1,5 km/l. O consumo total de combustível do caminhão, somando-se ida (caminhão carregado) e volta (caminhão vazio) do local de demolição até a usina de

reciclagem e vice-versa, é de 41,78 litros de óleo diesel por viagem. Admitiu-se que a distância até a usina de reciclagem é de 47 km. Essa distância foi verificada através de visita realizada até o local da usina de reciclagem e o aterro sanitário do município.

Para encontrar o consumo total de energia do caminhão para transportar qualquer material, considerou-se que o poder calorífico do diesel é de 43.000 kJ/kg e que a densidade (ρ) do diesel é de 0,8 kg/l (YUNUS, 2013). Calculou-se que o consumo de energia do caminhão é de 1.437.155,56 kJ, ou seja, 399,21 kWh.

6.3 CONSUMO DE ENERGIA PARA A REMOÇÃO DOS RESÍDUOS

O consumo de energia para a remoção dos resíduos caracteriza-se por quatro processos, sendo o carregamento, a britagem, o transporte e o descarregamento no local de reciclagem ou armazenamento dos resíduos.

6.3.1 Processo de transporte dos materiais

A fim de descobrir o consumo de energia em transporte para cada material relacionado na Tabela 9, verificou-se o número de viagens (idas e voltas) do caminhão para transportar os resíduos de cada um dos materiais. Na sequência, multiplicando-se o número de viagens pelo consumo de energia do caminhão (399,21 kWh), obteve-se o consumo total em kWh para transportar cada material. Para alcançar o consumo total em kWh/m², dividiu-se o consumo em kWh pela área total da edificação, 1.385,84 m². Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

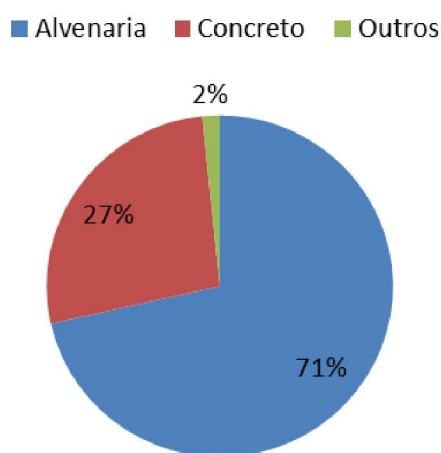
TABELA 10 – USO DE ENERGIA PARA O TRANSPORTE DOS RESÍDUOS

Material	Número de viagens do caminhão	Consumo total (kWh)	Consumo total (kWh/m ²)
Aço	≅ 1	428,15	0,31
Alvenaria	≅ 87	34.571,87	24,95
Concreto	≅ 33	13.006,06	9,38
Madeira	≅ 1	361,92	0,26

FONTE: A autora (2017).

O Gráfico 1 mostra a porcentagem do consumo total de energia para o transporte de cada material. O consumo de energia para o transporte dos resíduos resultou em 34,90 kWh/m², sendo que este valor está relacionado somente ao uso do caminhão. Conforme o item 4.1, para o consumo total de energia de remoção dos resíduos soma-se também o valor para o carregamento, britagem e descarregamento dos detritos.

GRÁFICO 1 – USO DE ENERGIA PARA O TRANSPORTE DE CADA MATERIAL



FONTE: A autora (2017).

6.3.2 Processo de carregamento, britagem e descarregamento

Para o carregamento dos resíduos no caminhão, admitiu-se uma altura de 1,5 metros e para o descarregamento, uma altura de 1,0 metro. Considerou-se o total de 2.423.187 kg de resíduos nos processos de carregamento e descarregamento, incluindo alvenaria, aço, concreto e madeira. Para o processo de britagem, considerou-se o total de 2.383.605 kg de resíduos, incluindo alvenaria e concreto, já que a madeira e o aço não passam por esse processo.

Com o intuito de melhor aproveitamento de cada viagem do caminhão, atribuiu-se que a trituração dos resíduos de grande porte foi feita no próprio canteiro de demolição. Considerou-se para a potência do triturador o valor de 55 kW, conforme descrita na Tabela 4, da seção 4.2.2. Os materiais considerados para a britagem foram alvenaria e concreto, desconsiderando os demais. Os resultados para cada um dos processos apresentam-se na Tabela 11.

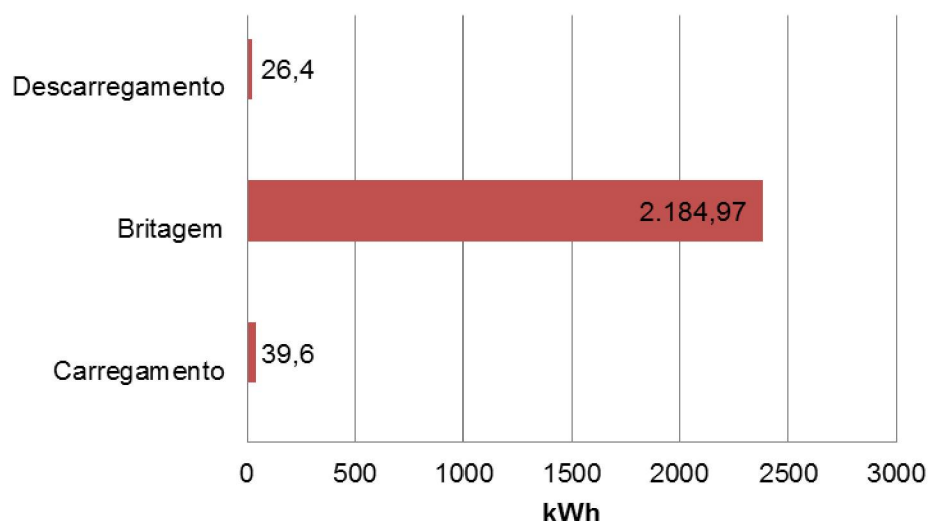
TABELA 11 – CONSUMO DE ENERGIA PARA OS DEMAIS PROCESSOS DE REMOÇÃO

Processo	Consumo de energia (kWh)	Consumo de energia (kWh/m ²)
Carregamento	39,60	0,028
Britagem	2.184,97	1,576
Descarregamento	26,40	0,019

FONTE: A autora (2017).

O Gráfico 2 mostra a relação do consumo de energia para cada processo, incluindo o carregamento, a britagem e o descarregamento.

GRÁFICO 2 – USO DE ENERGIA NOS PROCESSOS DE CARREGAMENTO, BRITAGEM E DESCARREGAMENTO DE RESÍDUOS.



FONTE: A autora (2017).

6.3.3 Consumo total de energia para o processo de remoção de resíduos

O resultado que compõe o valor total do consumo de energia para a remoção dos resíduos é a soma dos três processos relacionados na Tabela 11, carregamento, britagem e descarregamento, em kWh/m², mais o consumo de todas as viagens do caminhão até a usina de reciclagem, 34,90 kWh/m², obtendo-se o valor total para remoção dos resíduos de 36,53 kWh/m² do canteiro de demolição até o local de armazenamento desses materiais.

Evidencia-se nessa seção a importância da britagem dos materiais, cujo consumo de energia é de 1,57 kWh/m², pois sem esse processo torna-se inviável o

transporte daqueles componentes grandes que resultam do processo de demolição. Logo, o motivo da britagem no canteiro de demolição serve para, primeiramente, facilitar o transporte dos resíduos e, posteriormente, para que esses resíduos britados possam ser reutilizado em outra construção.

6.4 CONSUMO DE ENERGIA PARA A DEMOLIÇÃO

Além da energia para a remoção dos resíduos, há também a energia de demolição. Segundo o relatório desenvolvido pelo *World Business Council for Sustainable Development* (2009), o consumo de energia para demolição é estimado em 92 MJ/ton, único valor de consumo de energia para demolição encontrado na literatura. Este valor abrange as operações de demolição, exceto a remoção dos resíduos. Esse valor, 92 MJ/ton, concorda com os dados publicados por Thormak (2006).

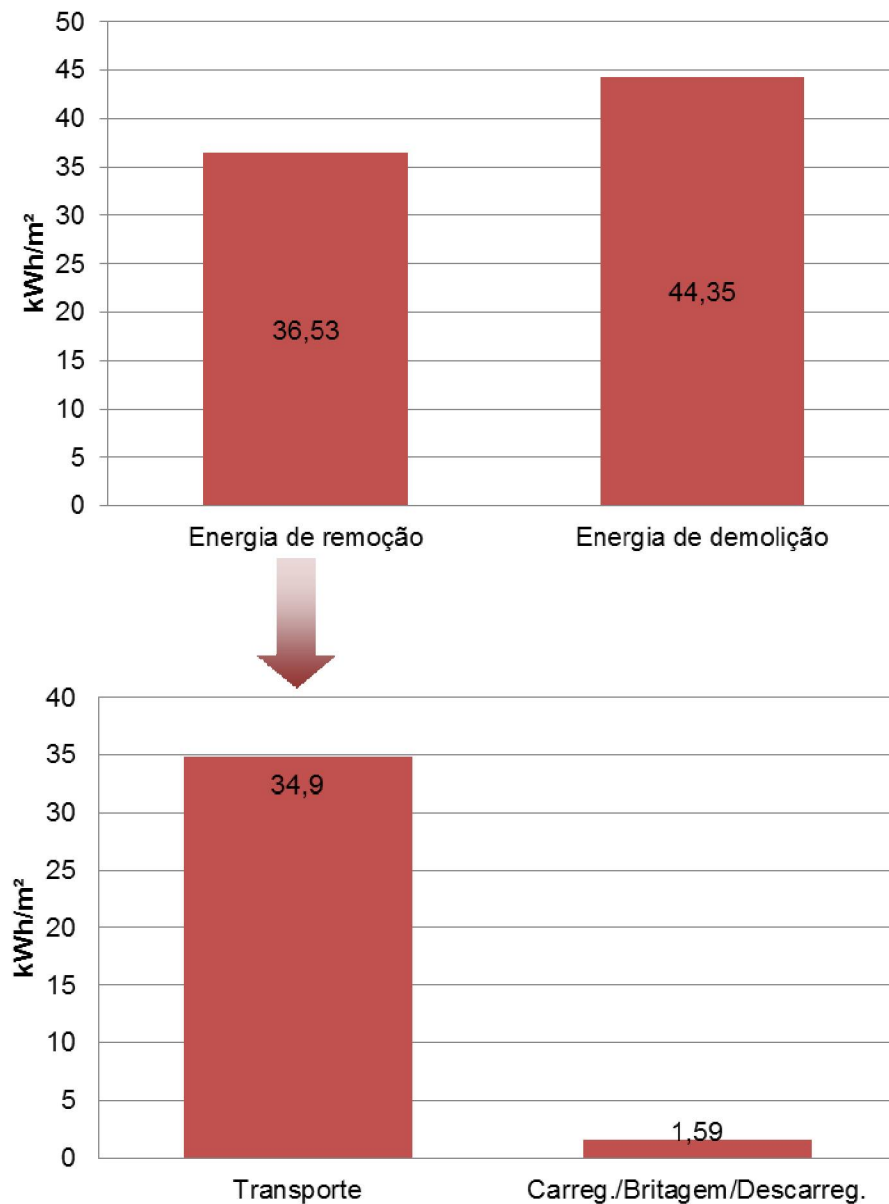
Para o consumo de energia de demolição, considerou-se para o cálculo o total de alvenaria, aço e concreto, 2.405.055 kg, resultando em 44,35 kWh/m².

A madeira não foi considerada para o consumo de energia de demolição, já que as partes de madeira que compõem uma construção podem ser facilmente desmontadas e reaproveitadas em novas construções, sendo desnecessário o gasto de energia de máquinas para demolir essas partes.

6.5 CONSUMO DE ENERGIA TOTAL DE DEMOLIÇÃO

O Gráfico 3 apresenta o consumo total de energia para demolição, relacionando o consumo de energia para demolição e a remoção dos resíduos até a usina de reciclagem dos materiais.

GRÁFICO 3 – USO TOTAL DE ENERGIA DE DEMOLIÇÃO E DESDOBRAMENTOS DA ENERGIA DE REMOÇÃO



FONTE: A autora (2017).

A energia total de demolição, $E_{total\ demolição}$, constitui-se pela soma da energia de demolição mais a energia para remoção, resultando em 80,88 kWh/m².

A energia de remoção, representando a soma dos consumos nos processos de Carregamento, Britagem, Transporte e Descarregamento, apresentou a maior contribuição para o consumo de energia para o processo de transporte, sendo 34,9kWh/m².

7 CONCLUSÕES

Mediante a metodologia do trabalho, foi possível estimar o consumo de energia da fase pós-operacional do ciclo de vida do edifício residencial abordado no estudo, o qual apresenta uma área total de 1.385,84 m². O uso de energia total de demolição compreende a soma do processo de demolição e remoção dos resíduos.

No processo de demolição, o resultado aponta um valor de 44,35 kWh/m², considerando a massa de alvenaria, aço e concreto. Este resultado refere-se ao processo de derrubada do prédio através do uso de equipamentos pesados, incluindo máquinas e martelos pneumáticos.

No processo de remoção dos resíduos, os resultados indicam que o maior consumo de energia diz respeito ao transporte até a usina de reciclagem ou armazenamento dos resíduos, sendo consumidos 34,90 kWh/m², o que implica diretamente na distância percorrida pelo caminhão caçamba, que faz o percurso de 47 km uma vez carregado e na outra, vazio.

A alvenaria e o concreto apresentaram o maior consumo de energia em transporte, justamente pelo fato de serem os materiais com maior quantidade, 71 e 27%, respectivamente.

Ainda no processo de remoção, há o consumo de carregamento, britagem e descarregamento dos resíduos, que somados resultam em 1,63 kWh/m². Dentre estes processos, a trituração dos resíduos no canteiro é o qual requer maior consumo, 1,57 kWh/m².

A decisão em utilizar a mesma distância para o transporte de todos os resíduos analisados deu-se por conta da quantidade desses materiais. A alvenaria e o concreto apresentaram as maiores quantidades de resíduos, podendo ser triturados no canteiro de demolição e posteriormente transportados para a usina de reciclagem para armazenamento juntamente com o aço e a madeira.

As quantidades referentes aos demais materiais, como gesso, plásticos, vidro, dentre outros, não foram consideradas na análise, já que o consumo de energia para transportar uma pequena quantidade de materiais a uma longa distância, talvez pudesse inviabilizar o processo de reciclagem do material.

O consumo total de energia para a fase pós-operacional do ciclo de vida da edificação estudada é de 80,88 kWh/m², incluindo a energia de demolição e a

energia de remoção dos resíduos, sendo que este último conta com o carregamento, britagem e descarregamento dos materiais.

Do ponto de vista do valor do consumo de energia, este estudo contribui em termos metodológicos, pela sequência de operações necessárias para realizar em condições técnicas viáveis a parte de demolição de edifícios, sendo nesta ordem: demolição, britagem, carregamento, transporte e descarregamento.

Outra contribuição da pesquisa indica as possibilidades, neste caso, da implementação da ideia de desconstrução em substituição a demolição para o estudo de caso considerado.

Em primeiro lugar, caso o projeto do edifício residencial tivesse sido planejado considerando a ideia de arquitetura modular, por exemplo, viabilizaria a desconstrução do prédio, agregando valor aos componentes estruturais inteiros para que esses pudessem ser reutilizados de modo original em novas construções, sem ter que passar por nenhum processo de reciclagem. Consequentemente, haveria uma redução considerável do consumo de energia para demolição.

Outra questão relevante nesse mesmo contexto diz respeito ao valor do consumo calculado pela metodologia utilizada, sendo 80,88 kWh/m². Entretanto, se o edifício residencial desse estudo tivesse sido planejado em função da desconstrução ao invés da demolição, impactaria também na redução do consumo de energia para demolição.

Considerando as possibilidades relacionadas acima, afirma-se que a economia circular vem de encontro com esses pressupostos, já que a desconstrução de uma edificação viabilizaria exatamente o reuso dos materiais, sejam componentes modulares inteiros ou o concreto britado, em novas edificações, o que reduziria consideravelmente a energia embutida desse novo empreendimento.

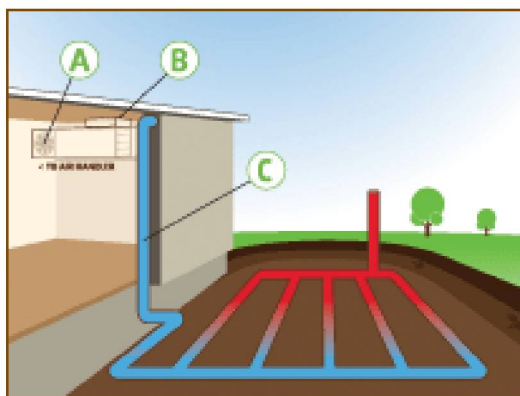
Conclui-se dessa maneira que esta pesquisa não encerra as discussões sobre os requisitos energéticos associados à etapa pós-operacional do ciclo de vida das edificações, mas contribui para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área do consumo energético no ambiente construído.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A autora deste trabalho sugere para futuras pesquisas o desenvolvimento de estudos aprofundados especificamente para cada um dos seguintes tópicos:

- a) O potencial de redução dos impactos ambientais associados à fase pós-operacional do ciclo de vida das edificações quando os princípios do mercado linear são substituídos pelos do mercado circular, através da viabilização da desconstrução em substituição a demolição dos edifícios;
- b) Desenvolvimento de uma base de dados de campo relativos aos consumos energéticos para reciclagem dos resíduos de demolição em uma usina de reciclagem após a fase pós-operacional do ciclo de vida das edificações;
- c) Estudo aprofundado sobre o potencial de geração de postos de trabalho em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil visando à conversão dos mesmos em insumos para novos empreendimentos;
- d) Detalhamento de características técnicas com vista na otimização de sistemas mais ecológicos para condicionamento de ar utilizando trocadores de calor ar-solo como mostrado na Figura 34.

FIGURA 34 – SISTEMA ECOLÓGICO DE TROCADOR DE CALOR AR-SOLO

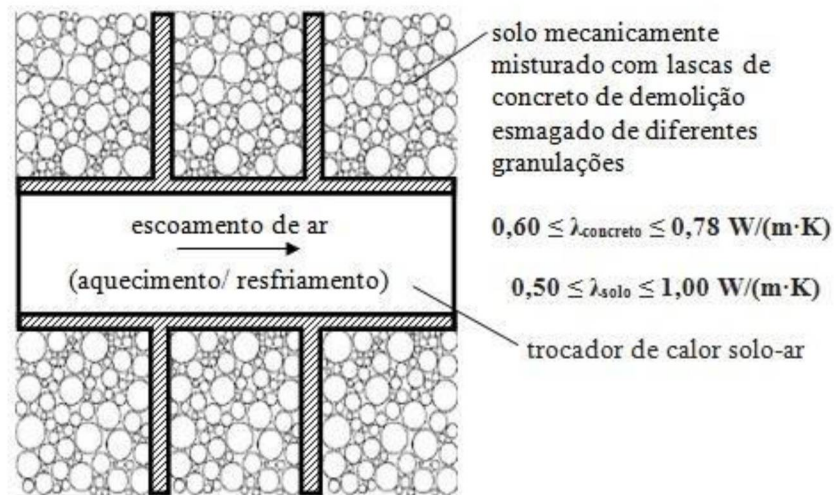


FONTE: <http://www.suzukipublicschool.ca/building-features/air/earth-tubes.html> (2018).

NOTA: Princípio de funcionamento de um sistema ecológico para condicionamento de ar empregando trocadores de calor ar-solo. A cor vermelha representa o ar atmosférico em alta temperatura entrando no trocador de calor enterrado. Na medida que o escoamento ocorre o ar está sendo resfriado devido a presença do solo em menor temperatura do lado externo da tubulação (C). As letras (A) e (B) representam respectivamente a entrada do ar com temperatura reduzida e o sistema de distribuição desse ar condicionado no ambiente construído.

Para melhor desempenho do trocador de calor ar-solo, sugere-se assim como mostra a Figura 35 o uso, do lado externo da tubulação, de uma mistura de solo ($0,50 \leq \lambda_{\text{solo}} \leq 1,00 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) e lascas de concreto de demolição esmagado em diferentes granulações ($0,60 \leq \lambda_{\text{concreto}} \leq 0,78 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), cuja condutividade térmica estima-se que é levemente superior a do solo (CALLEJAS; DURANTE; OLIVEIRA, 2017).

FIGURA 35 – TROCADOR DE CALOR AR-SOLO COM MISTURA DE SOLO E LASCAS DE CONCRETO DE DEMOLIÇÃO ESMAGADO EM DIFERENTES GRANULAÇÕES DO LADO EXTERNO DA TUBULAÇÃO.



FONTE: A autora (2018).

FIGURA 36 – PRODUTO MANUFATURADO EM PRODUÇÃO DE SERIE COM VISTA EM POSSÍVEIS ARRANJOS CONSTRUCTAIS PARA TROCADORES DE CALOR

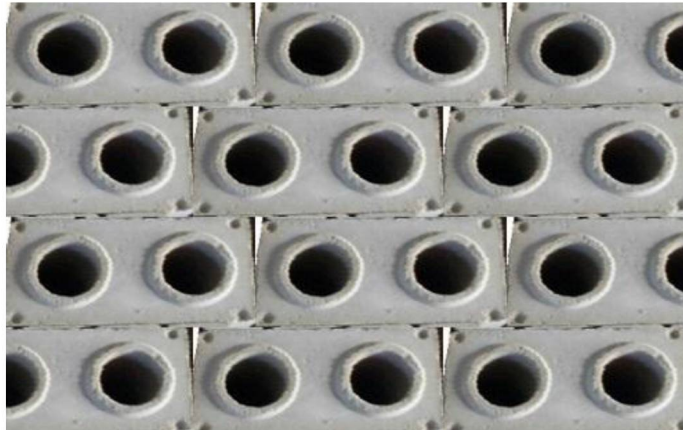


FONTE: <http://www.btheatexchanger.com/fin-tube/> (2018).

Como já acontece em várias áreas industriais, onde a teoria dos *constructais* está sendo implementada na prática das engenharias como mostrado na Figura 36, levando em consideração a efetiva possibilidade de manufatura de blocos cerâmicos com uso de resíduos de demolição, sugere-se o desenvolvimento de um estudo

aprofundado sobre implementação dos princípios *constructais*, que visam otimizar sistemas técnicos manufaturados com inspiração na natureza, também na engenharia civil como exemplificado na Figura 37.

FIGURA 37 – BLOCO CERÂMICO MANUFATURADO EM PRODUÇÃO DE SERIE, POSSIVELMENTE USANDO RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO, VIABILIZANDO MONTAGEM DE ARRANJOS CONSTRUCTAIS PARA TROCADORES DE CALOR.



FONTE: <http://www.btheatexchanger.com/fin-tube/> (2018).

- e) Estudo aprofundado sobre possível manufatura e configuração de barreiras litorâneas no Brasil usando resíduos de demolição, conforme exemplo de “quebra-mar” na Figura 38, a fim de minimizar a invasão do mar na costa.

FIGURA 38 – QUEBRA-MAR



FONTE: <http://www.wowbiz.ro/panica-pe-litoral-vezi-ce-au-descoperit-turistii-intre-stabilopozii-din-mamaia-16153341> (2018).

REFERÊNCIAS

ABREU, Wagner Gomes de. **Manutenção Predial Sustentável: diretrizes e práticas em shopping centers**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: a method. **Building and Environment**, [s.l.], v. 32, n. 4, p.317-320, jul. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323\(96\)00068-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323(96)00068-6).

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples. **Building and Environment**, [s.l.], v. 32, n. 4, p.321-329, jul. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323\(96\)00069-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323(96)00069-8).

ARAB, Hamed Ben. **Aggregates from Construction & Demolition Waste in Europe**. European Aggregates Association: Uepg, 2006. 4 p. (Providing essential materials for Europe). Building foundations for Europe's future. Disponível em: <http://www.uepg.eu/uploads/Modules/Publications/pub-12_en-plaquette.pdf>. Acesso em: 15 maio 2018.

ABCV – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA. Disponível em: <<http://abcvbrasil.org.br>>. Acesso em: 26 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009. 21 p.

BASTOS, Joana; BATTERMAN, Stuart A.; FREIRE, Fausto. Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 69, p.344-353, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.010>.

BENITE, Anderson. **Emissões de Carbono e a Construção Civil**. 2011. Centro de Tecnologia de Edificações (CTE). Disponível em: <<http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

BOLES, Michael A.; ÇENGEL, Yunus A. **Termodinâmica**. 7. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2013. 1011 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2008: Ano base 2007**. Brasília: EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2008. 244 p. ISS 0101-6636.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Brasília: EPE (Empresa de Pesquisa Energética), 2017. 292 p. ISS 0101-6636.

CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio; DURANTE, Luciane Cleonice; OLIVEIRA, Angela Santana de. Thermal resistance and conductivity of recycled construction and demolition waste (RCDW) concrete blocks. **Rem - International Engineering**

Journal, [s.l.], v. 70, n. 2, p.167-173, jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672015700048>.

CARRILLO-HERMOSILLA, Javier; RÍO, Pablo del; KÖNNÖLÄ, Totti. Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 18, n. 10-11, p.1073-1083, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.02.014>.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. 14. ed. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2002. 104 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Diretor Municipal de União da Vitória**. União da Vitória: Larocca Associados S/c Ltda, 2008. 384 p. CD-ROM.

CLAUDINO, Edison S.; TALAMINI, Edson. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: Uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p.77-85, 2013.

Cradle to Cradle Products Innovation Institute. **Cradle to Cradle Institute**. 2016. Disponível em: <<https://www.c2ccertified.org/about>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

CROWTHER, Philip. Developing an inclusive model for design for deconstruction. In: CIB PUBLICATION, 266., 2001, New Zealand. **Deconstruction and materials reuse: technology, economic and policy**. Wellington: University Of Florida, 2001. p. 1 - 27.

Ellen Macarthur Foundation. **Towards the Circular Economy**: Economic and business rationale for an accelerated transition. Kropa, Eslovênia: Rethink The Future, 2013. 98 p. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2018.

FAY, Roger; TRELOAR, Graham; IYER-RANIGA, Usha. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. **Building Research & Information**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.31-41, jan. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/096132100369073>.

FORUM, World Economic. **Towards the circular economy**: accelerating the scale-up across global supply chains. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2014. 64 p.

FRAGA, Manuel António Castro Henriques de Castro. **A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e cartão**. 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências de Engenharia e Gestão Industrial, Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017.

GENOVESE, Andrea et al. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**, [s.l.], v. 66, p.344-357, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>.

GOOGLE. **Google Earth Pro**: Version 7.3.1.4507 (64-bit). 2017. Disponível em: <https://www.downloadcrew.com/article/33108-google_earth_pro>. Acesso em: 03 mar. 2017.

GOOGLE. **Google Maps**. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

GUIMARÃES, Gonçalo Dias. **Análise Energética na Construção de Habitações**. 1985. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Nuclear e Planejamento Energético, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1985.

GUSTAVSSON, Leif; JOELSSON, Anna. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 42, n. 2, p.210-220, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.017>.

GUY, Brad; CIARIMBOLI, Nicholas. **Design for Disassembly in the Built Environment**. Seattle: Wa, Resource Venture, 2003. Inc. Pennsylvania State University.

HAMEED, Mohamed; CHINI, Abdol. Impact of transportation on cost and energy for recycled concrete aggregate. **Proceedings of The Asc 46th**, Boston, p.187-194, 2010. Annual Meeting. MA. 7.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 40, n. 5, p.837-848, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.06.002>.

L., Pinky Devi; PALANIAPPAN, Sivakumar. A case study on life cycle energy use of residential building in Southern India. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 80, p.247-259, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.034>.

LARSSON, Bengt. **Materialförbrukning på byggarbetsplatsen**. Sweden: Göteborg: Chalmers University of Technology, 1983. Department of Building Economics And Construction Management.

LEE, Bruno; TRCKA, Marija; HENSEN, Jan L.m. Embodied energy of building materials and green building rating systems—A case study for industrial halls. **Sustainable Cities and Society**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.67-71, jul. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2011.02.002>.

LUCCI, Elian Alabi; BRANCO, Anselmo Lazaro. **Geografia: Homem e Espaço**. 21. ed. São Paulo: Saraiva, 2008. 256 p.

LUZ, Beatriz; ECHEVENGUA, Claudia. **Gestão Empresarial para a Sustentabilidade em tempos de Mudanças Climática**. São Paulo: Manole, 2015. Green Nation.

MEDEIROS, Heloisa. Etiquetagem energética classifica edificações. **Revista Finestra**, São Paulo, v. 56, p.0-0, mar. 2009. Trimestral.

MENEZES, Cássia Maria Vieira Martins da Cunha et al. Resíduos da Indústria da Construção e Demolição em Ambientes Urbanos, Deposição e Reciclagem. **Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**: SINGEP, São Paulo, v. 4, p.1-11, 2015. Anual.

MITHRARATNE, Nalanie; VALE, Brenda. Life cycle analysis model for New Zealand houses. **Building and Environment**, [s.l.], v. 39, n. 4, p.483-492, abr. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.09.008>.

MONCASTER, A.m.; SYMONS, K.e. A method and tool for 'cradle to grave' embodied carbon and energy impacts of UK buildings in compliance with the new TC350 standards. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 66, p.514-523, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.046>.

MONICH, Carla Rabelo. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema Wood Frame no Estado do Paraná**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MOURA, Mariangela de; MOTTA, Ana Lucia Torres Seroa da. O fator energia na construção civil. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E 12TH INTERNACIONAL CONFERENCE ON CORPORATE SOCIAL RESPONSABILITY, 9., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2013. v. 1, p. 1 - 14.

OBA, Marina Millani. **O projeto de readequação visando a construção mais sustentável no edifício moderno**: estudo de caso sobre o centro politécnico da UFPR. 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, Eloise de. **Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído visando a energia e o CO₂ embutidos no sistema construtivo wood frame**. 2016. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ORTIZ, Oscar; CASTELLS, Francesc; SONNEMANN, Guido. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.28-39, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012>.

PAULSEN, Jacob Silva; SPOSTO, Rosa Maria. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "MY HOUSE MY LIFE". **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 57, p.95-102, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.014>.

PINI (São Paulo). **Tcpo 14: Tabelas de Composições de Preços Para Orçamento**. 14. ed. São Paulo: Pini, 2012. 659 p.

PRESTON, Felix. **A Global Redesign? Shaping the Circular Economy: Energy, Environment and Resource Governance**. London, Uk: Chatham House Briefing Paper, 2012. 20 p. EERG BP 2012/02. Disponível em:

<[https://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy, Environment and Develo](https://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy,Environment%20and%20Develo)>. Acesso em: 22 maio 2018.

ROSSELLÓ-BATLE, Beatriz et al. Energy use, CO2 emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 42, n. 4, p.547-558, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.024>.

SATTARY, Sattar; THORPE, David. Optimizing embodied energy of building construction through bioclimatic principles. In: SMITH, S.D (ED) PROCS 28TH ANNUAL ARCOM CONFERENCE, 28., 2012, Edinburgh, Uk. **Annual ARCOM Conference**. 3-5 September 2012: Association of Researchers in Construction Management, 2012. p. 1401 - 1411.

SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **A Technical Framework for Life?cycle Assessment**. Washington: Dc: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1991.

SHAH, Sonia. **A história do Petróleo**. Porto Alegre: L&pm, 2007. 240 p.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 207 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THORMARK, Catarina. **Recycling Potential and Design for Disassembly in Buildings**. 2001. 192 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Department of Construction and Arhitecture, Lund University. Lund Institute of Technology, Sweden, 2001. Disponível em: Acesso em: 13 fev. 2018.

THORMARK, Catarina. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**, [s.l.], v. 37, n. 4, p.429-435, abr. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323\(01\)00033-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-1323(01)00033-6).

THORMARK, Catarina. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. **Building and Environment**, [s.l.], v. 41, n. 8, p.1019-1026, ago. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>.

TILLMAN, Anne-marie et al. **Packaging and the environment life cycle analyses of selected packaging materials quantification of environment loadings**. 77. ed. Sweden: Chalmers Industriteknik, 1991. (SOU). Chalmers Teknikpark, Gothenburg.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p.757-767, 2009.

WBCSD. **World Business Council for Sustainable Development: The Cement Sustainability Initiative. Recycling Concrete.** 2009. Disponível em: <<https://www.wbcscement.org/pdf/CSI-RecyclingConcrete-FullReport.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2016.

WEN, Thong Jia; SIONG, Ho Chin; NOOR, Z.z. Assessment of embodied energy and global warming potential of building construction using life cycle analysis approach: Case studies of residential buildings in Iskandar Malaysia. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 93, p.295-302, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.002>.

World Economic Forum. **The Future of Manufacturing: Driving Capabilities, Enabling Investments.** 71. ed. Switzerland: Unido, 2014. 40 p. (REF 101114). Monday 10th of November 2014. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/Media/GAC14/Future_of_Manufacturing_Driving_Capabilities.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

YOHANIS, Y.g.; NORTON, B. Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK. **Energy**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.77-92, jan. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442\(01\)00061-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0360-5442(01)00061-5).

APÊNDICE 1 – QUANTITATIVO DE MATERIAIS UTILIZADOS

Item	Descrição	Un.	Quantidade	Conversão para m³
1	SERVIÇOS PRELIMINARES			
1.1	Locação da obra			
1.1.1	Gabarito	vb	1,0000	1,00
1.1.2	Topografia	vb	1,0000	0,00
1.2	Movimentação de terra (corte, reaterro, terraplanagem)			
1.1.1	Limpeza do terreno	vb	1,0000	0,00
1.1.1	Corte	vb	1,0000	0,00
1.1.1	Aterro	vb	1,0000	0,00
2	FUNDAÇÕES			
2.1	Execução de Estacas			
2.1.1	Execução de Estacas	m	500,0000	62,83
2.2	Contenção/ Cortina			
2.2.1	Contenção/ Cortina	vb	0,0000	0,00
2.3	Locação de equipamentos (retroescavadeira e caçamba p/ bota-fora)			
2.3.1	Serviço de retro escavadeira	h	40,0000	0,00
2.3.2	Caminhão Bota-fora	un	40,0000	120,00
2.4	Execução de armaduras de aço para estacas hélice contínua			
2.4.1	Armaduras para estacas	kg	850,0000	0,12
3	ESTRUTURA			
3.1	Forma Fundações			
3.1.1	Projeção de Área Forma Blocos e Baldrame	m2	310,0000	0,00
3.1.2	Madeira de pinus para Forma	m3	10,0000	10,00
3.1.3	Espaçadores de armadura	vb	1,0000	0,00
3.1.4	Compensado plastificado 17mm	m2	0,0000	0,00
3.1.5	Pregos, arames e fixadores	kg	40,0000	0,00
3.2	Forma Pavimentos tipo			
3.2.1	Projeção de Área Forma Pavimento Tipo	m2	930,0000	0,00
3.2.2	Madeira de pinus para Forma	m3	6,0000	6,00
3.2.3	Espaçadores de armadura	vb	1,0000	0,00
3.2.4	Compensado plastificado 17mm	m2	500,0000	8,50
3.2.5	Pregos, arames e fixadores	kg	90,0000	0,00
3.3	Forma Pavimento Cobertura			
3.3.1	Projeção de Área Forma Pavimento Cobertura	m2	310,0000	0,00
3.3.2	Madeira de pinus para Forma	m3	1,0000	1,00
3.3.3	Espaçadores de armadura	vb	1,0000	1,00
3.3.4	Compensado plastificado 17mm	m2	0,0000	0,00
3.3.5	Pregos, arames e fixadores	kg	30,0000	0,00
3.4	Forma muros			
3.4.1	Projeção de Área Forma de muros	m2	0,0000	0,00
3.4.2	Madeira de pinus para Forma	m3	0,0000	0,00
3.4.3	Espaçadores de armadura	vb	0,0000	0,00
3.4.4	Compensado plastificado 17mm	m2	0,0000	0,00
3.4.5	Pregos, arames e fixadores	kg	0,0000	0,00
3.5	Forma caixa d'água/casa de máquinas/barrilete			
3.5.1	Projeção de Área Forma Caixa de água	m2	25,0000	0,00
3.5.2	Madeira de pinus para Forma	m3	0,0000	0,00
3.5.3	Espaçadores de armadura	vb	1,0000	0,00
3.5.4	Compensado plastificado 17mm	m2	0,0000	0,00
3.5.5	Pregos, arames e fixadores	kg	10,0000	0,00
3.6	Forma Outros			
3.6.1	Projeção de Área Forma Outros	m2	0,0000	0,00
3.6.2	Madeira de pinus para Forma	m3	2,0000	2,00
3.6.3	Espaçadores de armadura	vb	0,0000	0,00
3.6.4	Compensado plastificado 17mm	m2	0,0000	0,00
3.6.5	Pregos, arames e fixadores	kg	30,0000	0,00
4	AÇO			2,75
4.1	Aço Fundações			
4.1.1	Aço Blocos e Baldrame	kg	4800,0000	0,62
4.2	Aço Pavimentos tipo			
4.2.1	Aço Pavimento Tipo	kg	4000,0000	0,51
4.3	Aço Pavimento Cobertura			
4.3.1	Aço Pavimento Cobertura	kg	12000,0000	1,54
4.4	Aço muros			

4.4.1	Aço de muros	kg	0,0000	0,00
4.5	Aço caixa d'água/casa de máquinas/barrilete			
4.5.1	Aço Caixa de água	kg	640,0000	0,08
4.6	Aço Outros			
4.6.1	Aço Outros	kg	1,0000	0,00
5	CONCRETO			283,30
5.1	Concreto Fundações			
5.1.1	Concreto Blocos e Baldrame	m3	60,0000	60,00
5.2	Concreto Pavimentos tipo			
5.2.1	Concreto Pavimento Tipo	m3	50,0000	50,00
5.3	Concreto Pavimento Cobertura			
5.3.1	Concreto Pavimento Cobertura	m3	150,0000	150,00
5.4	Concreto muros			
5.4.1	Concreto de muros	m3	0,0000	0,00
5.5	Concreto caixa d'água/casa de máquinas/barrilete			
5.5.1	Concreto Caixa de água	m3	8,0000	8,00
5.6	Concreto Outros			
5.6.1	Concreto Outros	m3	15,0000	15,00
5.6	Controle tecnológico			
5.6.1	Corpo de prova	un	152,0000	0,30
6	ALVENARIA			426,23
6.1	Alvenaria tijolo em pé - Torre			
6.1.1	Alvenaria tijolo em pé - Torre	m2	1176,0000	117,60
6.2	Alvenaria tijolo em pé - térreo			
6.2.1	Alvenaria tijolo em pé - térreo	m2	392,0000	39,20
6.3	Alvenaria deitado cm - Torre			
6.3.1	Alvenaria deitado cm - Torre	m2	1408,7000	211,31
6.4	Alvenaria deitado - Térreo			
6.4.1	Alvenaria deitado - Térreo	m2	387,5000	58,13
6.5	Paredes de drywall			
6.5.1	Paredes de drywall	m2	0,0000	0,00
7	CHAPISCO/EMBOÇO/REBOCO			236,82
7.1	Reboco Interno			
7.1.1	Apartamentos	m2	4425,0000	110,63
7.1.2	Áreas Comuns	m2	616,0000	15,40
7.2	Reboco Externo			
7.2.1	Fachada	m2	1500,0000	37,50
7.2.2	Caixa de água	m2	100,0000	2,50
7.2.3	Platibandas	m2	120,0000	3,00
7.3	Regularização Teto			
7.3.1	Apartamentos	m2	1184,0000	29,60
7.3.2	Áreas Comuns	m2	171,8000	4,30
7.4	Reboco muros			
7.4.1	Reboco muros	m2	0,0000	0,00
7.5	Contrapiso/ Enchimentos			
7.5.1	Apartamentos	m2	1184,0000	29,60
7.5.2	Áreas Comuns	m2	171,8000	4,30
8	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS			
8.1	Instalação Provisória de Elétrica			
8.1.1	Ligação de energia provisória	vb	1,0000	0,00
8.1.2	Instalações provisórias - canteiro	vb	1,0000	0,00
8.1.3	Instalações provisórias - torre	vb	1,0000	0,00
8.2	Mangueiras e caixinhas de luz			
8.2.1	Lajes	vb	1,0000	0,00
8.2.2	Paredes	vb	1,0000	0,00
8.3	Caixas e medidores			
8.3.1	Quadros de Medição	vb	1,0000	0,00
8.3.2	Quadros das áreas comuns	vb	1,0000	0,00
8.3.3	Quadros dos apartamentos	un	62,0000	0,00
8.4	Disjuntores			
8.4.1	Apartamentos	vb	1,0000	0,00
8.4.2	Áreas Comuns	vb	1,0000	0,00
8.5	Interruptores e Tomadas			
8.5.1	Apartamentos	vb	1,0000	0,00
8.5.2	Áreas Comuns	vb	1,0000	0,00
8.6	Luminárias diversas			
8.6.1	Sacadas dos apartamentos	un	0,0000	0,00
8.6.2	Áreas comuns	un	25,0000	0,00
8.7	Fiação total do prédio			
8.7.1	Entrada de energia	vb	1,0000	0,00
8.7.2	Prumadas	vb	1,0000	0,00

8.7.3	Apartamentos	vb	1,0000	0,00
8.7.4	Áreas Comuns	vb	1,0000	0,00
8.8	Eletro calhas e Eletro dutos			
8.8.1	Entrada de energia	vb	1,0000	0,00
8.8.2	Prumadas	vb	1,0000	0,00
8.9	Alarme de Incêndio			
8.9.1	Alarme de incêndio	vb	1,0000	0,00
8.10	Cablagem Telefone/Interfone			
8.10.1	Telefone	vb	1,0000	0,00
8.10.2	interfone	vb	1,0000	0,00
8.11	Automação e Segurança			
8.11.1	Controle de acesso	vb	1,0000	0,00
8.11.2	Portão eletrônico	vb	1,0000	0,00
8.11.3	Sistema de CFTV	vb	0,0000	0,00
8.11.4	Cerca elétrica	vb	0,0000	0,00
8.12	Iluminação de emergência			
8.12.1	Luminárias de emergencia	un	5,0000	0,00
8.12.2	Blocos autônomos	un	0,0000	0,00
8.13	Instalação Sistema Pára-Raio			
8.13.1	Malha do solo	vb	1,0000	0,00
8.13.2	Malha da platibanda e caixa de água	vb	1,0000	0,00
9	INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS			
9.1	Instalação Provisória de Hidráulica			
9.1.1	Ligação provisória de água	un	1,0000	0,00
9.1.2	Instalações hidráulicas do canteiro de obra	vb	1,0000	0,00
9.2	Tubos e Conexões Água Fria			
9.2.1	Cisterna e entrada de água	vb	1,0000	0,00
9.2.2	Prumadas e hidrometros	vb	1,0000	0,00
9.2.3	Apartamentos	vb	1,0000	0,00
9.2.4	Reservatórios Superiores e Barrilete	vb	1,0000	0,00
9.3	Tubos e Conexões de Esgoto			
9.3.1	Sistema fossa +Filtro	vb	1,0000	0,00
9.3.2	Caixas de passagem e de gordura	vb	1,0000	0,00
9.3.3	Tubulações enterradas	vb	1,0000	0,00
9.3.4	Prumadas e ligações dos apartamentos	vb	1,0000	0,00
9.4	Tubos e Conexões Água Pluviais			
9.4.1	Caixas de coleta de água da chuva	vb	1,0000	0,00
9.4.2	Caixas de passagem e grelhas pluviais	vb	1,0000	0,00
9.4.3	Tubulações enterradas	vb	1,0000	0,00
9.4.4	Prumadas e ligações de águas dos telhados	vb	1,0000	0,00
9.5	Instalação Rede de hidrantes			
9.5.1	Instalação da rede de hidrantes	vb	1,0000	0,00
9.6	Extintores c/ acessórios			
9.6.1	Extintores	un	8,0000	0,00
9.6.2	Sinalização	un	16,0000	0,00
9.7	GLP Completo			
9.7.1	Central de gás	vb	1,0000	0,00
9.7.2	Tubulações enterradas e Prumada	vb	1,0000	0,00
9.7.3	Ramal dos apartamentos	vb	1,0000	0,00
9.7.4	Sistema de medição individual	un	31,0000	0,00
9.8	Bombas de Recalque			
9.8.1	Bombas de recalque com automação	vb	1,0000	0,00
10	IMPERMEABILIZAÇÃO			
10.1	Impermeabilização vigas baldrame			
10.1.1	Impermeabilização vigas baldrame	m	350,0000	0,00
10.2	Impermeabilização poço do elevador			
10.2.1	Impermeabilização poço do elevador	vb	1,0000	0,00
10.3	Impermeabilização laje cobertura			
10.3.1	Impermeabilização laje cobertura	m2	300,0000	0,00
10.4	Impermeabilização de Apartamentos			
10.4.1	Impermeabilização de box de banheiro	m2	110,0000	0,00
10.4.2	Impermeabilização de cozinha	m2	100,0000	0,00
10.5	Regularização de laje p/ impermeabilização			
10.5.1	Regularização de laje p/ impermeabilização	m2	300,0000	0,00
10.6	Impermeabilização caixas			
10.6.1	Caixa de gordura	vb	1,0000	0,00
10.6.2	Caixas de esgoto	vb	6,0000	0,00
11	CERÂMICAS E GRANITOS			
11.1	Assentamento Azulejo			
11.1.1	Apartamentos	m2	1590,0000	0,00
11.1.2	Áreas Comuns	m2	0,0000	0,00

11.2	Assentamento piso cerâmico				
11.2.1	Apartamentos	m2	1184,0000	0,00	
11.2.2	Áreas Comuns	m2	220,0000	0,00	
11.3	Assentamento Granito				
11.3.1	Soleiras e pingadeiras Apartamentos	un	111,0000	0,00	
11.3.2	Soleiras e pingadeiras Áreas Comuns	un	5,0000	0,00	
12	ESQUADRIAS / SERRALHERIA				
12.1	Esquadrias de alumínio c/ vidro				
12.1.1	Portas Janela dos apartamentos	un	0,0000	0,00	
12.1.2	Janelas Maxi-ar apartamentos	un	16,0000	0,00	
12.1.3	Janelas de correr apartamentos	un	64,0000	0,00	
12.1.4	Janelas áreas comum	un	0,0000	0,00	
12.2	Esquadrias de alumínio				
12.2.1	Portas venezianas de shafts	un	16,0000	0,00	
12.2.2	Janelas venezianas áreas técnicas	un	4,0000	0,00	
12.2.3	Portas venezianas áreas técnicas	un	2,0000	0,00	
12.2.4	Guarda-corpo	un	0,0000	0,00	
12.2.5	Guarda-corpo das sacadas		0,0000	0,00	
12.3	Itens de serralheria				
12.3.1	Corrimão escadaria	m	80,0000	0,00	
12.3.2	Escada marinheiro	un	1,0000	0,00	
12.3.3	Alçapões	un	2,0000	0,00	
12.3.4	itens para casa de máquinas de elevadores	vb	0,0000	0,00	
13	PORTAS MADEIRA/PORTAS CORTA-FOGO				
13.1	Portas de madeira				
13.1.1	Porta Madeira 60x210 - Abrir	un	31,0000	1,95	
13.1.2	Porta Madeira 60x210 - Correr	un	0,0000	0,00	
13.1.3	Porta Madeira 70x210 - Abrir	un	0,0000	0,00	
13.1.4	Porta Madeira 70x210 - Correr	un	62,0000	4,56	
13.1.5	Porta Madeira 80 x 210 - Abrir	un	31,0000	2,60	
13.1.6	Porta Madeira 80 x 210 - Correr	un	31,0000	2,60	
13.2	Portas Corta-fogo				
13.2.1	Portas Corta-fogo	un	0,0000	0,00	
14	PINTURA				
14.1	Pintura interna apartamentos				
14.1.1	Paredes	m2	2835,0000	0,00	
14.1.2	Tetos	m2	1184,0000	0,00	
14.2	Pintura interna Áreas comuns				
14.2.1	Paredes	m2	616,0000	0,00	
14.2.2	Tetos	m2	171,8000	0,00	
14.3	Pintura interna Áreas de serviço				
14.3.1	Paredes	m2	110,0000	0,00	
14.3.2	Tetos	m2	39,8000	0,00	
14.4	Pintura Externa				
14.4.1	Fachada	m2	1700,0000	0,00	
14.4.2	Muros	m2	0,0000	0,00	
14.5	Pinturas diversas				
14.5.1	Pintura rodapés e faixas	m	0,0000	0,00	
14.5.2	Pintura de caixas e tampas	un	6,0000	0,00	
14.5.3	Pintura de Tubulações, eletrocalhas e eletrodutos	m	0,0000	0,00	
15	RODAPÉS				
15.1	Rodapé Apartamentos				
15.1.1	Rodapé de poliestireno	m	1050,0000	1,58	
15.1.2	Rodapé ceramico	m	0,0000	0,00	
15.2	Rodapé Áreas comuns				
15.2.1	Rodapé de polietileno	m	0,0000	0,00	
15.2.2	Rodapé ceramico	m	199,2000	0,30	
16	REBAIXOS DE FORROS EM GESSO				
16.1	Forro Apartamentos				
16.1.1	Forro de gesso liso	m2	256,4800	5,13	
16.1.2	Negativo de gesso	m	639,0000	0,38	
16.2	Forro Áreas comuns				
16.2.1	Forro de gesso liso	m2	160,0000	3,20	
16.2.2	Negativo de gesso	m	162,4000	0,10	
17	LOUÇAS				
17.1	Vaso sanitário com caixa acoplada				
17.1.1	Vaso sanitário com caixa acoplada	un	31,0000	3,10	
17.1.2	Assento p/ vaso sanitário	un	31,0000	0,62	
17.1.3	Kit de fixação para louças	un	31,0000	0,00	
17.1.4	Anel de vedação	un	31,0000	0,00	
17.1.5	Tubo de ligação flexível	un	31,0000	0,00	

17.2	Tanque				
17.2.1	Tanque	un	31,0000		3,72
17.2.2	Kit de fixação para louças	un	31,0000		0,00
17.2.3	Valvula	un	31,0000		0,00
17.2.4	Sifão	un	31,0000		
17.3	Lavatórios				
17.3.1	Cuba com coluna	un	31,0000		1,86
17.3.2	Kit de fixação para louças	un	31,0000		0,00
17.3.3	Tubo de ligação flexível	un	31,0000		0,00
17.3.4	Valvula	un	31,0000		0,00
17.3.5	Sifão	un	31,0000		0,00
18	METAIS				
18.1	Acabamento de registros				
18.1.1	Acabamento Docol Base	un	124,0000		0,00
18.2	Torneiras				
18.2.1	Torneira p/ tanque	un	31,0000		0,00
18.3	Torneira p/ jardim	un	2,0000		0,00
18.3.1	Torneira p/ lavatório	un	31,0000		0,00
18.3	Acessórios				
18.3.1	Kit Acessórios para banheiros	un	31,0000		0,00
19	DIVERSOS				
19.1	Instalações provisórias				
19.1.	Tapume	m2	110,0000		2,00
19.1.	Canteiro de obra	un	1,0000		1,00
19.1.	Áreas de vivência	un	1,0000		1,00
19.1.	Outros	un	1,0000		1,00
19.2	Coberturas				
19.2.1	Cobertura Torre	m2	40,0000		2,00
19.2.2	Cobertura Garagens	Vb	0,0000		0,00
19.3	Calhas, rufos e pingadeiras				
19.3.1	Calhas	m	14,5000		0,00
19.3.2	Rufos	m	28,0000		0,00
19.3.3	Pingadeiras	m	130,0000		0,00
19.4	Limpeza de obra				
19.4.1	Limpeza de obra, canteiro e áreas de vivência	Mês	15,0000		0,00
19.4.2	Limpeza final de obra	m2	1206,0000		0,00
19.5	Outros gastos				
19.5.1	Despesas com seguros	Vb	1,0000		0,00
19.5.2	Despesas com documentações	Vb	1,0000		0,00
19.5.3	Despesas com plotagens	Vb	1,0000		0,00
19.5.4	Despesas com laudos	Vb	1,0000		0,00
19.5.5	Outros gastos	Vb	1,0000		0,00
19.6	Ar Condicionado				
19.6.1	Infraestruturura	Vb	93,0000		0,00
19.7	Decoração				
19.7.1	Apartamento Modelo	Vb	1,0000		0,00
19.7.2	Hall de entrada	Vb	1,0000		0,00
19.7.3	Salão de festas	Vb	0,0000		0,00
19.7.4	Outros	Vb	1,0000		0,00
19.8	Remoção de resíduos				
19.8.1	Remoção de resíduos	Caçamba 5m³	100,0000		500,00
20	EQUIPAMENTOS				
20.1	Equipamentos em geral				
20.1.1	Compra de equipamentos em geral	Vb	1,0000		0,00
20.2	Elevadores				
20.2.1	Elevador social	Vb	0,0000		10,00
20.3	Torre de guincho				
20.3.1	Locação de elevador cremalheira	mês	0,0000		10,00
20.3.2	Locação de guincho de coluna / minigrua	mês	7,0000		1,00
20.4	Aluguel de equipamentos				
20.4.1	Bandeja Salva-Vidas	mês	6,0000		15,00
20.4.2	Aluguel de escoras metálica	mês	4,0000		10,00
20.4.3	Aluguel de equipamentos em geral	Vb/mês	12,0000		0,00
20.5	Equipamentos de segurança				
20.5.1	Equipamentos de proteção coletiva	Vb	1,0000		0,00
20.5.2	Equipamentos de proteção individual	Vb	1,0000		0,00
21	ADMINISTRAÇÃO				
21.1	Administração no local da obra				
21.1.1	Engenheiro - Gerente de Obra	mes	15,0000		0,00
21.1.2	Mestre de Obras	mes	15,0000		0,00
21.1.3	Estagiário	mes	10,0000		0,00

21.1.4	Almoxarife	mes	0,0000	0,00
21.1.5	Guincheiro	mes	0,0000	0,00
21.2	Despesas Administrativas			
21.2.1	Fatura de energia	mes	15,0000	0,00
21.2.2	Fatura de água e esgoto	mes	15,0000	0,00
21.2.3	Fatura telefone e internet	mes	15,0000	0,00
21.2.4	Monitoramento de Alarme	mes	15,0000	0,00
21.3	Material de expediente			
21.3.1	Material de expediente	mes	15,0000	0,00
21.4	Assessorias			
21.4.1	Assessoria de segurança do trabalho	mes	15,0000	0,00
21.4.2	Assessoria ambiental	mes	15,0000	0,00
21.4.3	Assessoria Jurídica	mes	15,0000	0,00